

**PEMETAAN BATIMETRI PERAIRAN DANGKAL DENGAN MENGGUNAKAN
CITRA SATELIT SENTINEL-2A DAN LANDSAT 8
(STUDI KASUS: PERAIRAN TEMAJUK, KALIMANTAN BARAT)**

SKRIPSI

Oleh:

FATHURRAHMAN JAMIL

NIM. 165080601111066

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



PROGRAM STUDI ILMU KELAUTAN

JURUSAN PEMANFAATAN SUMBERDAYA KELAUTAN DAN PERIKANAN

FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

MALANG

2020



**PEMETAAN BATIMETRI PERAIRAN DANGKAL DENGAN MENGGUNAKAN
CITRA SATELIT SENTINEL-2A DAN LANDSAT 8
(STUDI KASUS: PERAIRAN TEMAJUK, KALIMANTAN BARAT)**

SKRIPSI

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Meraih Gelar Sarjana Kelautan di Fakultas
Perikanan dan Ilmu Kelautan**

Universitas Brawijaya

Oleh:

FATHURRAHMAN JAMIL

NIM. 165080601111066



PROGRAM STUDI ILMU KELAUTAN

JURUSAN PEMANFAATAN SUMBERDAYA KELAUTAN DAN PERIKANAN

FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

MALANG

2020



LEMBAR PENGESAHAN

**PEMETAAN BATIMETRI PERAIRAN DANGKAL DENGAN MENGGUNAKAN
CITRA SATELIT SENTINEL-2A DAN LANDSAT 8
(STUDI KASUS: PERAIRAN TEMAJUK, KALIMANTAN BARAT)**

Oleh:

FATHURRAHMAN JAMIL

NIM. 165080601111066

Dosen Pembimbing 1

(Dr. Ir. Bambang Semedi., M.Sc)

NIP.19621220 198803 1 004

Tanggal: 7/24/2020

**Menyetujui,
Dosen Pembing 2**

(Dhiria Kurniawan S., S.Kel, M.Sc)

NIP. 201201 860115 1 001

Tanggal: 7/24/2020

Mengetahui

Ketua Jurusan

Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan dan Kelautan



(Dr. Eng Abu Bakar Sambah S.Pi, MT)

NIP. 19780717 200502 1004

Tanggal: 7/24/2020

RINGKASAN

Fathurrahman Jamil. Pemetaan Batimetri Perairan Dangkal Dengan Menggunakan Citra Satelit Sentinel-2A Dan Landsat 8 (Studi Kasus: Perairan Temajuk, Kalimantan Barat). (dibawah bimbingan **Bambang Semedi dan Dhira Kurniawan Saputra**)

Batimetri merupakan ukuran tinggi rendahnya dasar laut, sehingga peta batimetri memberikan informasi tentang dasar laut, dimana informasi tersebut dapat menjadi informasi alur pelayaran untuk kapal. Dengan sifat perairan yang dinamis membuat informasi kedalaman perlu dilakukan pengkajian yang berkelanjutan, untuk menunjang kegiatan yang ada di Pelabuhan Temajuk maka diperlukan kajian secara terus menerus mengenai kedalaman perairan. Pemetaan batimetri dengan menggunakan alat *echosounder* memberikan data yang akurat, namun memerlukan biaya dan waktu yang sesuai dengan luas area survei. Pada saat ini pemanfaatan penginderaan jauh memberikan peluang untuk pemetaan batimetri secara efektif dan efisien. Dalam penelitian ini menggunakan citra satelit Sentinel-2A dan Landsat 8 untuk mengetahui nilai kedalaman serta topografi dasar laut.

Metode penelitian dibagi menjadi beberapa tahapan. Tahapan pertama yaitu identifikasi dan perumusan masalah serta studi literatur dari penelitian sebelumnya. Tahapan kedua yaitu pengambilan data penelitian, tahapan ketiga yakni pengolahan data penelitian, tahapan keempat yaitu penyajian hasil akhir peta batimetri dan tahapan terakhir adalah analisis hasil penelitian.

Pada tahapan pengolahan data terbagi menjadi tiga bagian, yaitu pengolahan data insitu kedalaman perairan, pengolahan data citra satelit sentinel-2A, dan pengolahan data citra satelit Landsat 8, yang mana untuk estimasi kedalaman perairan dengan citra satelit diperlukan penerapan algoritma Van Hengel dan Spitzer. Setelah mendapatkan nilai kedalaman relatif dari citra tersebut, kemudian dilakukan regresi linier sederhana, untuk mendapatkan nilai kedalaman sebenarnya dari hasil citra satelit. Dari hasil kedalaman tersebut selanjutnya dilakukan penyajian hasil akhir peta batimetri dan analisis hasil penelitian.

Berdasarkan analisis penelitian ini, didapatkan hasil bahwa perairan Temajuk, Kalimantan Barat memiliki rentang kedalaman antara 0.01 m - 10.13 meter, citra satelit yang digunakan untuk mengestimasi informasi batimetri menghasilkan rentang nilai kedalaman 2.43 m - 12.33 m untuk landsat 8, dan 0.39 m - 14.97 m untuk Sentinel-2A. Hasil regresi antara kedalaman relatif citra Sentinel-2A dengan kedalaman insitu menghasilkan nilai koefisien determinasi (R^2) 0.3657, koefisien korelasi (r) 0.6047, dengan nilai galat 27.22% dan RMSE 2.0476 meter. Nilai tersebut berbeda dengan hasil regresi antara kedalaman relatif citra Landsat 8 dengan kedalaman insitu yang jauh lebih baik, dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0.4909, koefisien korelasi (r) 0.7006, galat 23.61% dan RMSE 1.5662 meter. Faktor yang berperan penting untuk mengestimasi kedalaman perairan menggunakan citra satelit adalah nilai reflektan dari citra.

DAFTAR ISI

Halaman

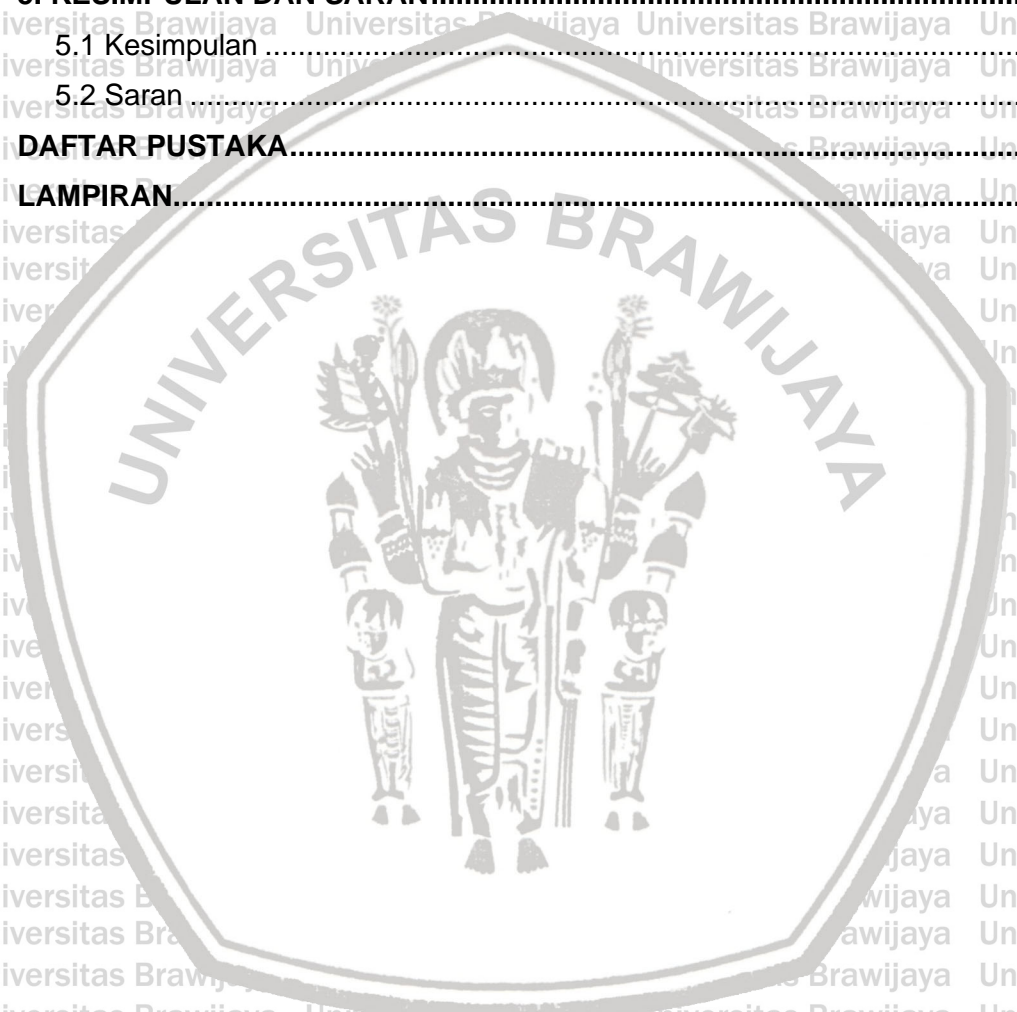
LEMBAR PENGESAHAN	iii
UCAPAN TERIMAKASIH	iv
RINGKASAN	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Kegunaan.....	4
1.5 Tempat dan Jadwal Kegiatan.....	4
2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Singlebeam Echosounder.....	5
2.2 Pasang Surut.....	5
2.3 Penginderaan Jauh.....	6
2.4 Pemanfaatan Citra Satelit Untuk Pemetaan Kedalaman Perairan.....	7
2.5 Algoritma Untuk Deteksi Kedalaman Perairan.....	8
2.6 Citra Sentinel-2A.....	10
2.7 Citra Landsat 8.....	12
2.8 Koreksi Geometrik.....	14
2.9 Koreksi Radiometrik.....	15
3. METODE PENELITIAN	17
3.1 Kondisi Umum Lokasi Penelitian.....	17
3.2 Alat dan Data Penelitian.....	18
3.2.1 Alat.....	18
3.2.2 Data.....	19
3.3 Prosedur Penelitian.....	19
3.4 Metode Pengambilan Data.....	20
3.5 Prosedur Pengolahan Data.....	20
3.6 Pengolahan Data Kedalaman Perairan.....	23
3.7 Pengolahan Data Citra Sentinel-2A.....	23



3.7.1 Koreksi Geometrik Citra Sentinel-2A	23
3.7.2 Koreksi Radiometrik Citra Sentinel-2A	23
3.7.3 Pemisahan Perairan dan Daratan (Masking)	24
3.7.4 Aplikasi Algoritma Van Hengel dan Spitzer	25
3.7.5 Galat (<i>Error</i>) dan Residual Kedalaman insitu dengan Kedalaman Hasil Citra Satelit Sentinel-2A	26
3.7.6 Perbandingan Data Citra Sentinel-2A dan Data Lapang	27
3.8 Pengolahan Data Citra Landsat 8	27
3.8.1 Koreksi Geometrik	27
3.8.2 Koreksi Radiometrik	28
3.8.3 Pemisahan Perairan dan Daratan (Masking)	29
3.8.4 Aplikasi Algoritma Van Hengel dan Spitzer	29
3.8.5 Galat (<i>Error</i>) dan Residual Kedalaman insitu dengan Kedalaman Hasil Citra Satelit Landsat 8	31
3.8.6 Perbandingan Data Citra Landsat 8 dan Data Lapang	31
3.9 Uji Akurasi	32
4. HASIL DAN PEMBAHASAN	34
4.1 Hasil Pengolahan Data Lapang	34
4.1.1 Pengukuran Pasang Surut	34
4.1.2 Pengukuran Kedalaman	35
4.1.3 Peta Batimetri Hasil Pemeruman	38
4.2 Hasil Pengolahan Data Citra Sentinel-2A	41
4.2.1 Koreksi Radiometrik	41
4.2.2 Pemisahan Air dan Darat Pada Citra (<i>Masking</i>)	42
4.2.3 Aplikasi Algoritma Van Hengel dan Spitzer	43
4.2.4 Peta Batimetri Hasil Pengolahan Data Citra Sentinel-2A	45
4.3 Hasil Pengolahan Data Citra Landsat 8	47
4.3.1 Koreksi Radiometrik	47
4.3.2 Pemisahan Air dan Darat Pada Citra	48
4.3.3 Aplikasi Algoritma Van Hengel dan Spitzer	49
4.3.4 Peta Batimetri Hasil Pengolahan Landsat 8	50
4.4 Galat (<i>Error</i>) dan Residual Kedalaman insitu dengan Kedalaman Hasil Citra Satelit	53
4.5 Perbandingan Data Citra dan Data Lapang	56
4.5.1 Cross Section Kedalaman (Insitu) Perairan Temajak	56



4.5.2 Cross Section Kedalaman Perairan Temajuk Hasil Pengolahan Citra Sentinel-2A	59
4.5.3 Cross Section Kedalaman Perairan Temajuk Hasil Pengolahan Citra Landsat 8	62
4.5.4 Overlay Cross Section Kedalaman Insitu dan Citra Satelit.....	64
4.7 Uji Akurasi.....	66
4.8 Faktor Penting Dalam Estimasi Kedalaman Perairan.....	70
5. KESIMPULAN DAN SARAN.....	71
5.1 Kesimpulan	71
5.2 Saran	72
DAFTAR PUSTAKA.....	73
LAMPIRAN.....	75



DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 1. Karakteristik dari 13 kanal spektral satelit sentinel -2A.....	10
Tabel 2. Pita-pita pada citra Landsat 8.....	14
Tabel 3. Alat yang digunakan pada saat penelitian.....	18
Tabel 4. Data yang digunakan pada saat penelitian.....	19
Tabel 5 Contoh hasil sounding.....	36
Tabel 6 Hasil perhitungan variabel kombinasi band 432 Sentinel-2A.....	43
Tabel 7 Persamaan regresi penentuan kedalaman absolut citra Sentinel-2A.....	44
Tabel 8 Hasil Perhitungan Variabel Kombinasi Band 432 Landsat 8.....	49
Tabel 9 Persamaan regresi penentuan kedalaman absolut citra Landsat 8.....	50
Tabel 10 Perbandingan Nilai galat (error).....	53
Tabel 11 Perbandingan Hasil Regresi Dengan Penelitian Sebelumnya.....	69



DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 1 Lokasi Penelitian.....	17
Gambar 2 Alur Pengolahan Data.....	22
Gambar 3 Hasil Pengukuran Surutan.....	35
Gambar 4 Jalur Hasil Pemeruman Perairan Temajuk.....	37
Gambar 5 Peta Batimetri 2D Hasil Pemeruman Perairan Temajuk.....	39
Gambar 6 Peta Batimetri 2D dengan Overlay Titik Pemeruman.....	39
Gambar 7 Peta Batimetri Shaded Relief Perairan Temajuk Kalimantan Barat....	40
Gambar 8 Resolusi Band 10m.....	41
Gambar 9 Sentinel 2A sebelum (A) dan sesudah (B) koreksi radiometrik.....	42
Gambar 10 Citra Sentinel 2A sebelum (A) dan sesudah (B) dilakukan masking	43
Gambar 11 Peta Batimetri 2D Hasil Pengolahan Citra Sentinel-2A.....	46
Gambar 12 Peta Batimetri Shaded Relief Hasil Pengolahan Citra Sentinel-2A..	47
Gambar 13 Citra Landsat 8 Sebelum (A) dan Sesudah (B) Koreksi Radiometrik	48
Gambar 14 Citra Landsat 8 sebelum (A) dan sesudah (B) dilakukan masking....	48
Gambar 15 Peta Batimetri 2D Hasil Pengolahan Citra Landsat 8.....	51
Gambar 16 Peta Batimetri Shaded Relief Hasil Pengolahan Citra Landsat 8.....	52
Gambar 17 Grafik Residual Kedalaman Hasil Pemeruman dan Sentinel-2A.....	55
Gambar 18 Grafik Residual Kedalaman Lapang dan Citra Landsat 8.....	56
Gambar 19 Peta Garis Cross Section Perairan Temajuk Hasil Pemeruman.....	57
Gambar 20 Profil Kedalaman Hasil Pemeruman (Titik A-B).....	58
Gambar 21 Profil Kedalaman Hasil Pemeruman (Titik C-D).....	59
Gambar 22 Profil Kedalaman Hasil Pemeruman (Titik E-F).....	59
Gambar 23 Peta Garis Cross Section Hasil Citra Sentinel-2A.....	60
Gambar 24 Profil Kedalaman Hasil Citra Sentinel-2A (Titik A-B).....	61
Gambar 25 Profil Kedalaman Hasil Citra Sentinel-2A (Titik C-D).....	61
Gambar 26 Profil Kedalaman Hasil Citra Sentinel-2A (Titik E-F).....	61
Gambar 27 Peta Garis Cross Section Hasil Citra Landsat 8.....	62
Gambar 28 Profil Kedalaman Hasil Citra Landsat 8 (Titik A-B).....	63
Gambar 29 Profil Kedalaman Hasil Citra Landsat 8 (Titik C-D).....	64
Gambar 30 Profil Kedalaman Hasil Citra Landsat 8 (Titik E-F).....	64
Gambar 31 Overlay Cross Section Titik A-B.....	65
Gambar 32 Overlay Cross Section Titik C-D.....	65
Gambar 33 Overlay Cross Section Titik E-F.....	66
Gambar 34 Hasil Regresi Nilai Kedalaman dengan Citra Sentinel-2A.....	67
Gambar 35 Hasil Regresi Nilai Kedalaman dengan Citra Landsat 8.....	68



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
Lampiran 1 Data Surutan Hasil Pengamatan Lapang	75
Lampiran 2 Tabel Hasil Koreksi Surutan Pada Software Hypack 15.0	76
Lampiran 3 Hasil Histogram Koreksi Radiometrik Citra Sentinel-2A Band 2,3,4 77	
Lampiran 4 Hasil Histogram Koreksi Radiometrik Citra Landsat 8 Band 2,3,4 ...	78



1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu hal penting dalam menghadirkan transportasi laut yang aman adalah informasi batimetri atau kedalaman perairan. Batimetri merupakan ukuran tinggi rendahnya dasar laut, sehingga peta batimetri memberikan informasi tentang dasar laut, dimana informasi tersebut dapat memberikan manfaat pada beberapa bidang yang berkaitan dengan dasar laut, seperti alur pelayaran untuk kapal. Data tentang kedalaman atau batimetri dapat menjadi salah satu data acuan dalam pelayaran. Ketiadaan Informasi mengenai alur pelayaran yang tidak sesuai dapat mengakibatkan kesalahan dalam berlayar dan dapat menimbulkan kejadian seperti kandasnya kapal (Febrianto *et al.*, 2015).

Batimetri adalah studi tentang kedalaman air, baik dasar sungai, danau maupun laut. Batimetri digunakan untuk mendukung keselamatan navigasi pelayaran baik permukaan maupun sub-permukaan. Pada awalnya pengukuran batimetri dilakukan secara manual dengan menggunakan tali dan beban. Teknik ini tidak akurat dan efisien karena hanya bisa mengukur satu titik pada satu satuan waktu dan posisi titik beban terhadap kapal dipengaruhi oleh pergerakan kapal.

Saat ini pembuatan data batimetri menggunakan *echosounder* yang dipasang pada kapal dilakukan berdasarkan jumlah waktu yang diperlukan suara atau cahaya untuk melakukan perjalanan melalui air, memantul kembali di dasar laut, dan melakukan perjalanan kembali ke permukaan (Pambuko *et al.*, 2015).

Dewasa ini teknologi penginderaan jauh memberikan peluang untuk pemetaan batimetri perairan dangkal secara efektif dan efisien, terutama untuk daerah yang memiliki tingkat perubahan kedalaman secara cepat. Selain itu daerah cakupan data penginderaan jauh cukup luas sehingga sangat baik untuk mengetahui apa saja yang terjadi di lingkungan sekitarnya, sehingga mudah untuk

mengetahui keterkaitan antara satu dengan yang lainnya. Penggunaan teknologi penginderaan jauh untuk pemetaan batimetri ini akan sangat berguna untuk menentukan jalur pelayaran yang aman pada saat kapal berlayar di perairan dangkal (Bobsaid dan Jaelani, 2017).

Penggunaan teknologi penginderaan jauh memiliki beberapa keunggulan seperti memberikan informasi secara kontinu, data yang dihasilkan berupa data digital dalam bentuk foto atau citra yang memudahkan manusia untuk mengolahnya, cakupan daerah yang diobservasi luas dan mampu mendeteksi daerah yang sulit dijangkau atau berbahaya bagi manusia, dan tidak memerlukan pengeluaran yang besar karena biaya yang dikeluarkan relatif murah. Informasi yang diperoleh dari pemanfaatan teknologi penginderaan jauh kawasan pesisir juga dapat bermanfaat dalam pengelolaan dan pembangunan sumberdaya laut dalam industri kelautan (Harianto *et al.*, 2019).

Dengan sifat perairan yang dinamis membuat informasi kedalaman perairan perlu dilakukan pengkajian yang berkelanjutan, untuk menunjang kegiatan yang ada di pelabuhan Temajuk, Kalimantan Barat maka perlu dilakukan kajian secara terus menerus mengenai kedalaman perairan. Dengan menggunakan alat *echosounder* memberikan data yang akurat namun memerlukan biaya dan waktu yang sesuai dengan luasan area survei. Penginderaan jauh memberikan peluang untuk pemetaan batimetri secara efektif dan efisien. Dalam hal ini menggunakan citra satelit Sentinel-2A dan Landsat 8 untuk mengetahui nilai kedalaman serta topografi dasar laut secara berkelanjutan. Pemilihan citra tersebut didasarkan karena citra tersebut dapat mengimplementasikan penentuan kedalaman dengan metode empiris (korelasi antara data citra dan titik kedalaman hasil pengukuran).

Alasan yang kedua adalah karena kedua citra tersebut memiliki pita spektral dengan panjang gelombang yang pendek. Dimana dalam memetakan perairan dangkal pemilihan band spektral perlu dipertimbangkan, karena secara teoritis

spektral biru (0.45-0.52 μm) harus dipilih karena kemampuan penetrasi yang kuat untuk menembus kolom air (Gao, 2009).

1.2 Rumusan Masalah

Adapun beberapa rumusan masalah yang menjadi dasar pada penelitian ini adalah:

1. Berapa nilai kedalaman antara citra satelit Sentinel-2A dan Landsat 8 dalam mengestimasi perairan dangkal di Perairan Temajuk, Kalimantan Barat
2. Bagaimana gambaran topografi kedalaman antara citra satelit Sentinel-2A dan Landsat 8 dalam mengestimasi perairan dangkal di Temajuk, Kalimantan Barat
3. Bagaimana ketelitian hasil estimasi kedalaman perairan antara citra satelit Sentinel-2A dan Landsat 8 terhadap kedalaman insitu

1.3 Tujuan

Tujuan dilaksanakannya Penelitian ini adalah:

1. Menganalisis perbedaan kedalaman yang dihasilkan citra satelit Sentinel-2A dan Landsat 8 dalam mengestimasi perairan dangkal di Perairan Temajuk, Kalimantan Barat
2. Menganalisis topografi kedalaman antara citra satelit Sentinel-2A dan Landsat 8 dalam mengestimasi perairan dangkal di Perairan Temajuk, Kalimantan Barat
3. Menganalisis ketelitian batimetri perairan antara citra satelit Sentinel-2A dan Landsat 8 terhadap kedalaman insitu

1.4. Kegunaan

Kegiatan penelitian ini diharapkan dapat berguna untuk:

1. Sumber referensi dalam pembuatan peta batimetri
2. Pengembangan ilmu dan teknologi kelautan dalam hal metode dan dayaguna citra penginderaan jauh khususnya citra satelit Sentinel-2A dan Landsat 8 untuk pemetaan kedalaman perairan dangkal
3. Memberikan informasi dalam pengambilan keputusan, perencanaan, pengembangan serta pembangunan wilayah pesisir Temajuk, Kalimantan Barat

1.5. Tempat dan Jadwal Kegiatan

Penelitian ini berlokasi di Pelabuhan Temajuk, Kecamatan Paloh, Kabupaten Sambas, Kalimantan Barat yang dilaksanakan pada tanggal 23 Maret 2020 – 13 April 2020.



2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Singlebeam Echosounder

Singlebeam echosounder merupakan alat ukur kedalaman air yang menggunakan pancaran suara tunggal. Sistem *singlebeam echosounder* secara umum mempunyai susunan: *transceiver* (*transducer* dan *receiver*) yang terpasang pada lambung kapal atau sisi bantalan pada kapal. Sistem ini mengukur kedalaman air secara langsung dari kapal penyelidikan. *Transceiver* yang terpasang pada lambung kapal mengirimkan pulsa akustik dengan frekuensi tinggi yang terkandung dalam Pancaran (*beam*) secara langsung menyusuri bawah kolom air (Febrianto *et al.*, 2015).

Singlebeam echosounder merupakan alat ukur kedalaman air yang menggunakan pengirim dan penerima sinyal gelombang suara tunggal. Prinsip kerja *singlebeam echosounder* yaitu menggunakan prinsip pengukuran selisih fase pulsa dengan cara menghitung selisih pemancaran dan penerimaan dari pulsa akustik. Gelombang akustik dipancarkan dari *transducer*. *Transducer* adalah salah satu bagian dari alat pemeruman yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik kemudian menghasilkan gelombang akustik. Gelombang akustik tersebut yang kemudian merambat melalui kolom air dengan cepat rambat yang telah diketahui, sampai menyentuh dasar laut lalu akan kembali lagi menuju *transducer* (Wijonarko *et al.*, 2016).

2.2 Pasang Surut

Pasang surut adalah fluktuasi muka air laut yang disebabkan oleh gaya tarik benda-benda di langit, terutama matahari dan bulan terhadap massa air laut bumi. Meskipun massa bulan jauh lebih kecil dari massa matahari, tetapi karena jaraknya

terhadap bumi jauh lebih dekat, maka pengaruh gaya tarik bulan terhadap bumi lebih besar daripada pengaruh gaya tarik matahari (Fadiah *et al.*, 2014).

Pengamatan pasang surut diperoleh dari pengamatan di lokasi selama 29 hari, yang kemudian diolah dan dianalisis dengan metode *admiralty* untuk menentukan elevasi muka air laut. Dalam tahap ini penentuan komponen pasang surut dilakukan dengan menggunakan metode *Admiralty*. Pada metode *Admiralty*, nilai konstanta pasang surut yang diperoleh adalah S_0 , M_2 , S_2 , N_2 , K_1 , O_1 , M_4 , MS_4 , K_2 , dan P_1 dengan menggunakan tabel perhitungan *admiralty* pada perangkat lunak *Microsoft Office Excel*. Dari nilai-nilai tersebut akan diperoleh tinggi muka air rata-rata (MSL-*Mean Sea Level*), surut terendah (LLWL- *Lowest Low Water Level*), pasang tertinggi (HHWL- *Highest High Water Level*), dan muka surutan (Z_0) (Rinaldy *et al.*, 2014).

2.3 Penginderaan Jauh

Kemajuan teknologi penginderaan jauh yang menggunakan sistem satelit mampu menyediakan data berupa citra penginderaan jauh yang mempunyai resolusi spasial (ukuran piksel), resolusi *spektral* (panjang gelombang) dan resolusi temporal yang cukup tinggi. Teknologi penginderaan jauh tentu saja sangat membantu pelaksanaan aplikasi citra penginderaan jauh dalam hal pengukuran, pemetaan, pantauan dan pemodelan dengan lebih efisien dibandingkan dengan pemetaan secara konvensional (Hartono, 2010).

Pada saat ini pemanfaatan teknologi penginderaan jauh telah banyak dilakukan karena dinilai merupakan salah satu metode pemetaan batimetri yang efektif dan efisien (Arief *et al.*, 2013; Setiawan *et al.*, 2014; Wahyuningrum *et al.*, 2008). Kelebihan dari teknologi ini yaitu relatif murah, mempunyai wilayah cakupan yang cukup luas dan dapat menjangkau wilayah yang relatif sulit serta data yang dapat diperbaharui dalam jangka waktu tertentu (Arief, 2012; Arief *et al.*, 2013).

Hasil dari teknologi ini dapat digunakan dalam menyusun serta merevisi peta-peta sumber daya (Setiawan *et al.*, 2014).

2.4 Pemanfaatan Citra Satelit Untuk Pemetaan Kedalaman Perairan

Peta batimetri juga dapat dihasilkan dari citra satelit multi-spektral, yang dikenal dengan *satellite-derived bathymetry* (SDB), yang telah dikembangkan sejak akhir 1970-an. Kemajuan terbaru dalam teknologi satelit, seperti peningkatan resolusi dan pita multi-spektralnya, telah meningkatkan potensinya sebagai sumber data hidrografi. Pendekatan ini memanfaatkan fakta bahwa panjang gelombang cahaya yang berbeda dilemahkan oleh air pada tingkat yang berbeda sehingga perairan yang lebih dalam tampak lebih gelap daripada perairan dangkal.

Dengan generasi satelit saat ini, teknologi ini dapat digunakan untuk memetakan batimetri di kedalaman perairan hingga 25 m dalam kondisi yang optimal. Untuk keperluan-keperluan praktis dan studi-studi yang tidak memerlukan ketelitian tinggi, batimetri yang diturunkan dari satelit kini semakin banyak digunakan.

Dibandingkan dengan metode tradisional, biayanya jauh lebih efektif, tidak mengganggu lingkungan, cepat, dan dapat diterapkan untuk area yang tidak dapat diakses. Dalam beberapa tahun terakhir, peluncuran satelit penginderaan jauh seperti diantaranya *Ikonos*, *QuickBird*, dan *Worldview-2* telah menawarkan citra dengan resolusi spasial dan spektral yang tinggi, tetapi semua citranya harus diperoleh secara komersial (berbayar). Karena pengadaan citra tersebut terbukti mahal untuk sebagian besar negara berkembang, karenanya penggunaan data citra landsat 8 yang tersedia secara bebas dapat dilakukan untuk memetakan batimetri perairan dangkal dengan hasil yang relatif dapat diterima (Irwanto, 2018).

Penggunaan teknologi penginderaan jauh memiliki beberapa keunggulan seperti memberikan informasi secara kontinu, data yang dihasilkan berupa data digital dalam bentuk foto atau citra yang memudahkan manusia untuk

mengolahnya, cakupan daerah yang diobservasi luas dan mampu mendeteksi daerah yang sulit dijangkau atau berbahaya bagi manusia, dan tidak memerlukan pengeluaran yang besar karena biaya yang dikeluarkan yang relatif murah. Pendekatan algoritma merupakan salah satu metode yang digunakan untuk memecahkan kelemahan-kelemahan dalam pendugaan batimetri menggunakan data dari citra satelit (Harianto *et al.*, 2019).

Studi pemanfaatan citra satelit Sentinel-2A dan Landsat 8 dalam mengestimasi perairan dangkal telah dilakukan oleh (Bobsaid dan Jaelani, 2017), dalam penelitian tersebut citra landsat 8 memiliki rentang estimasi kedalaman absolut yang lebih baik dibandingkan dengan hasil yang didapat dari citra sentinel-2A. Hal ini juga dikarenakan pada citra landsat 8 memiliki nilai reflektan lebih besar dibandingkan dengan citra sentinel-2A karena dalam menggunakan citra satelit membutuhkan nilai reflektan perairan pada citra satelit. Hasil kedalaman mutlak yang diperoleh adalah 8,714 m - 12,052 m untuk landsat 8 dan 9,220 m - 11,149 m untuk sentinel-2A. Nilai korelasi atau hubungan antara nilai kedalaman absolut yang didapat dari Landsat 8 dan Sentinel-2A terhadap kedalaman insitu masing-masing termasuk rendah yaitu 0,102 dan 0,008. Berkaitan dengan hasil validasi estimasi kedalaman menggunakan citra Landsat 8 menunjukkan nilai galat yang lebih baik dibandingkan Sentinel-2A yakni 25,777% dan 26,887%. Dari hasil itu masih mengindikasikan bahwa akurasi data estimasi kedalaman dapat diterima untuk kedua sumber data tersebut, namun memiliki korelasi yang lemah antara hasil kedalaman absolut terhadap data insitu sehingga perlu dikaji terutama kesesuaian algoritma dalam estimasi kedalaman perairan.

2.5 Algoritma Untuk Deteksi Kedalaman Perairan

Algoritma Van Hengel dan Spitzer merupakan algoritma transformasi nilai citra satelit untuk menghasilkan nilai kedalaman relatif di perairan dangkal. Pada

proses ini, algoritma Van Hengel dan Spitzer dimasukkan kedalam citra landsat 8 dan citra sentinel-2A menggunakan kanal *red green blue* (RGB) setelah itu akan muncul data kedalaman yang masih *relatif* pada kedua citra. Untuk algoritma yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$r = \arctan (Ur + \sqrt{Ur^2 + 1})$$

$$s = \arctan (Us + \sqrt{Us^2 + 1})$$

$$Ur = \frac{\text{Var } x_3 + \text{Var } x_2}{2 \text{Cov } x_2 x_3}$$

$$Us = \frac{\text{Var } x_4 + \text{Var } x_2}{2 \text{Cov } x_2 x_4}$$

$$Y = [\cos (r) \cdot \sin (s) \cdot X_2] + [\sin (r) \cdot \cos (s) \cdot X_3] + [\sin (s) \cdot X_4]$$

Var x2 adalah data varian kanal 2, Var x3 adalah data varian kanal 3, Var x4 adalah data varian kanal 4, Cov x2x3 adalah data kovarian kanal 2 dan 3 dan Cov x2x4 adalah data kovarian kanal 2 dan 4. Nilai r dan s adalah nilai dari sudut rotasi yang dijadikan parameter untuk menghitung nilai indeks kedalaman pada transformasi rotasi yang digunakan pada algoritma Van Hengel dan Spitzer. Y adalah nilai kedalaman relatif (Indeks Kedalaman) dan Xi adalah nilai reflektan kanal ke-i pada citra (Bobsaid dan Jaelani, 2017).

Pemanfaatan data penginderaan jauh untuk pendugaan kedalaman perairan dangkal telah banyak dilakukan oleh berbagai peneliti asing ataupun dalam negeri.

Algoritma untuk pemetaan batimetri di wilayah pesisir dengan menggunakan citra satelit telah dikembangkan oleh Lyzenga, Parades dan Spero, Jupp, Splitzer dan Dirks, Van Hengel dan Spitzer dan lain-lain. Algoritma Van Hengel dan Spitzer 91' telah digunakan unuk ekstraksi informasi batimetri menggunakan data citra satelit landsat di Pulau Menjangan Provinsi Bali dengan hasil untk data pada tahun 2003

menghasilkan rata-rata *error* sebesar 21% dan memiliki akurasi sebesar 80% serta koefisien korelasi sebesar 0,998 (Setiawan *et al.*, 2014).

2.6 Citra Sentinel-2A

Satelit Sentinel-2A merupakan satelit milik *European Space Agency* (ESA) yang diluncurkan dalam program *Copernicus* atau Program Observasi Bumi Eropa. Satelit Sentinel-2A ini, diluncurkan pertama kali pada tanggal 23 Juni 2015 di *Guiana Space Centre, Kourou, French Guyana* menggunakan roket Vega yang kemudian diikuti oleh peluncuran satelit Sentinel-2B pada tanggal 7 Maret 2017.

Melalui sensor multi-spektral resolusi tinggi, satelit Sentinel-2A dapat memberikan pencitraan bumi secara menyeluruh baik darat, laut maupun pemantauan atmosfer melalui kombinasi 13 kanal spektral (Tabel 1) berikut ini. (ESA, 2012).

Tabel 1. Karakteristik dari 13 kanal spektral satelit sentinel -2A

Resolusi Spasial (m)	Kanal	Panjang Gelombang (nm)	Resolusi Spektral (nm)	Kegunaan
10	2 - Blue	490	65	Melihat fitur permukaan air/ kolom air
10	3 - Green	560	35	Studi vegetasi di laut, darat serta seimen
10	4 - Red	665	30	Membedakan mineral dan tanah (studi geologi) lereng vegetasi
10	8- NIR	842	115	Studi Konten biomassa dan garis pantai
20	5- Vegetation Red Edge	705	15	Vegetasi spektral untuk menilai status vegetasi
20	6- Vegetation Red Edge	740	15	Vegetasi spektral untuk menilai status vegetasi



Resolusi Spasial (m)	Kanal	Panjang Gelombang (nm)	Resolusi Spektral (nm)	Kegunaan
20	7- Vegetation Red Edge	783	20	Vegetasi spektral untuk menilai status vegetasi
20	8b- Vegetation Red Edge	865	20	Vegetasi spektral untuk menilai status vegetasi
20	11- SWIR	1610	90	Studi deteksi kandungan air tanah dan vegetasi
20	12- SWIR	2190	180	Studi deteksi kandungan air tanah dan vegetasi
60	1 - Coastal Aerosol	443	20	Studi pesisir dan aerosol
60	9 - Water Vapour	945	20	Studi deteksi uap air (water Vapour)
60	10 - SWIR Cirrus	1380	30	Peningkatan deteksi kontaminasi awan cirrus

Satelit Sentinel-2A membawa alat *Multi-Spectral Instrument* (MSI) dengan 13 saluran spektral yang membentang dari *Visible and Near Infrared* (VNIR) ke *Short-Wave Infrared* (SWIR) dimana citra ini menampilkan empat kanal spektral pada resolusi 10 meter yaitu biru (490 nm), hijau (560 nm), merah (665 nm) dan inframerah dekat (842 nm); enam kanal pada resolusi 20 meter yaitu empat kanal pada vegetasi spektral (705 nm, 740 nm, 783 nm dan 865 nm) dan dua kanal SWIR besar (1610 nm dan 2190 nm); dan tiga kanal pada resolusi spasial 60 meter digunakan untuk koreksi atmosfer dan *screening* awan (443 nm untuk pengambilan aerosol, 945 nm untuk pengambilan uap air dan 1380 nm untuk deteksi awan cirrus), satelit ini memiliki area sapuan sebesar 290 km (ESA, 2012).



Dalam mengekstraksi nilai kedalaman citra satelit Sentinel-2A mempunyai kanal dengan dengan panjang gelombang sinar tampak berada pada kanal 2, 3, dan 4. Kanal tersebut dapat digunakan untuk mengestimasi kedalaman dengan karakteristik tersendiri, kanal merah dapat berpenetrasi terhadap perairan dengan karakteristik kedalaman 0-3 meter, kanal hijau 4-10 meter, serta kanal biru merupakan kanal dengan penetrasi kedalaman yakni 11-15 meter. Hal tersebut dikarenakan panjang gelombang pada kanal biru yang lebih pendek sehingga kanal tersebut tidak banyak terpengaruh oleh material tersuspensi serta kandungan klorofil perairan, selain itu penggunaan kanal biru pada citra satelit Sentinel-2A merupakan kanal yang dikhususkan untuk obsevasi kelautan pada perairan dangkal. Penggunaan algoritma *Jupp* 1988 pada citra satelit Sentinel-2A yang dilakukan di perairan Pulau Barrang Caddi Kota Makassar dapat digunakan untuk menginterpretasi kedalaman pada titik kajian dengan maksimal kedalaman 15 meter. Uji akurasi menggunakan matrik konfusi diperoleh hasil bahwa ketelitian seluruh hasil klasifikasi sebesar 81,11% dengan total nilai kedalaman yang *overestimate* sebesar 84% dan *underestimate* sebesar 16% (Pajrin, 2018).

2.7 Citra Landsat 8

Landsat-8 adalah sebuah satelit observasi bumi Amerika yang diluncurkan pada tanggal 11 Februari 2013, satelit landsat 8 menggambarkan seluruh bentuk bumi setiap 16 hari. Landsat 8 membawa dua *instrument push-broom*: *The Operational Land Imager* (OLI) dan *Thermal Infrared Sensor* (TIRS). Landsat-8 diorbitkan pada ketinggian 705 km mendekati lingkaran singkron matahari, dengan inklinasi 98,2°, laju pengamatan data 384 M bits/sec. Terapan interpretasi citra landsat telah dilakukan didalam disiplin ilmu seperti, pertanian, botani, kartografi, geodesi, geologi, geografi, geofisika, teknik sipil, kehutanan, perencanaan tataguna lahan, oseanografi, dan analisis sumberdaya air. Untuk interpretasi citra

landsat perlu adanya pemilihan saluran/band untuk perpaduan yang paling sesuai dengan tujuannya, untuk kegunaannya pada survei batimetri saluran yang perlu dipadukan yaitu saluran 4, 3, dan 2 (*red, green, dan blue*), hal ini dikarenakan pada saluran *red, green, dan blue* dapat menembus kolom perairan, maka dengan pemodelan hitungan tertentu maka dapat diketahui nilai kedalaman suatu perairan di suatu daerah tertentu (Fadilah *et al.*, 2018).

Landsat 8 adalah satelit observasi Bumi yang diluncurkan pada 11 Februari 2013. Satelit ini adalah satelit kedelapan dalam program Landsat; ketujuh yang mencapai orbit dengan sukses. Awalnya disebut *Landsat Data Continuity Mission* (LDCM), sebuah kolaborasi antara NASA dengan *United States Geological Survey* (USGS). Satelit Landsat 8 memotret seluruh bumi setiap 16 hari. Data yang dikumpulkan oleh instrumen pada satelit tersedia untuk diunduh secara bebas dari *EarthExplorer, GloVis, atau LandsatLook Viewer* dalam 24 jam setelah akuisisi. Citra *Operational Land Imager* (OLI) dan *Thermal Infrared Sensor* (TIRS) Landsat 8 terdiri dari sembilan pita spektrum dengan resolusi spasial 30 m untuk Pita 1 hingga 7 dan 9. Pita 1 (Ultra Biru) bermanfaat untuk studi pesisir dan aerosol. Pita 9 bermanfaat untuk pendeteksian awan tipis (*cirrus*). Resolusi untuk Pita 8 (Pankromatis) adalah 15 meter. Pita Termal 10 dan 11 bermanfaat untuk mengukur suhu permukaan yang lebih akurat dalam setiap 100 meter. Semua citra perlu dilakukan koreksi sebelum digunakan untuk perkiraan batimetri perairan dangkal dengan menggunakan citra satelit, antara lain koreksi atmosferis dan radiometris. Koreksi atmosferis dilakukan karena sinar matahari melewati atmosfer dua kali, yaitu saat sampai ke Bumi dan dipantulkan lagi untuk diterima oleh sensor satelit, sehingga telah mengalami dua kali hamburan dan penyerapan oleh atmosfer (Irwanto, 2018). Berikut merupakan pita spektrum dari citra landsat 8 seperti yang dapat dilihat pada (Tabel 2) dibawah ini.

Tabel 2. Pita-pita pada citra Landsat 8

Pita	Panjang gelombang (mikrometer)	Resolusi (meter)
Pita 1 – Ultra Biru	0,435-0,451	30
Pita 2 – Biru	0,452-0,512	30
Pita 3 – Hijau	0,533-0,590	30
Pita 4 – Merah	0,636-0,673	30
Pita 5 – Dekat Infra Merah	0,851-0,879	30
Pita 6 – Infra Merah Gelombang Pendek 1	1,566-1,651	30
Pita 7 – Infra Merah Gelombang Pendek 2	2,107-2,294	30
Pita 8 – Pankromatis	0,503-0,676	15
Pita 9 – Awan Tipis	1,363-1,384	30
Pita 10 – Infra Merah Termal 1	10,60-11,19	100
Pita 11 – Infra Merah Termal 2	11,50-12,51	100

2.8. Koreksi Geometrik

Geometrik merupakan posisi geografis yang berhubungan dengan distribusi keruangan (*spatial distribution*). Geometrik memuat informasi data yang mengacu bumi (*geo-referenced data*), baik posisi (sistem koordinat lintang dan bujur) maupun informasi yang terkandung didalamnya. Transformasi geometrik yang paling mendasar adalah penempatan kembali posisi *pixel* sedemikian rupa, sehingga pada citra digital yang tertransformasi dapat dilihat gambaran objek di permukaan bumi yang terekam sensor. Koreksi geometrik dilakukan karena terjadi distorsi geometrik antara citra hasil penginderaan dan objeknya. Distorsi geometrik adalah ketidaksempurnaan geometri citra yang terekam pada saat pencitraan, hal ini menyebabkan ukuran, posisi, dan juga bentuk citra menjadi tidak sesuai dengan kondisi sebenarnya. Distorsi geometrik ini harus dikoreksi dahulu sebelum citra digunakan (Nurwauziyah, 2016).



Koreksi geometrik dilakukan dengan menghilangkan kesalahan yang diakibatkan oleh karakter/perilaku satelit pada orbitnya dan sifat fisik bumi, memperbaiki kesalahan geometrik dilakukan dengan cara melakukan proyeksi/transformasi setiap *pixel* ke sistem koordinat tertentu (contoh: *Universal Transverse Mercator*) pada peta atau *ground control point* (GCP) yang telah mempunyai koordinat geografis maupun koordinat proyeksi. Oleh karena itu, perlu diuji hasil yang diperoleh dengan melakukan transformasi atau tumpang susun (*overlay*) antara citra yang ada dengan dokumen yang lain (peta, foto, citra) yang telah mempunyai sistem koordinat (geografis atau proyeksi) yaitu dengan melihat nilai penyimpangannya (*root mean squares = RMS error*), atau juga dengan melihat ketelitian petanya (*map accuracy*). Sedangkan dilapangan dilakukan dengan verifikasi pengamatan menggunakan alat *Global Positioning System* (GPS) (Lukiawan *et al.*, 2019).

2.9 Koreksi Radiometrik

Proses koreksi radiometrik terbagi menjadi dua, yaitu kalibrasi radiometrik dan koreksi atmosfer. Kalibrasi radiometrik, bertujuan mengubah *digital number* (DN) ke nilai radian atau reflektan menggunakan parameter yang tersedia di metadata, sedangkan koreksi atmosfer bertujuan menurunkan reflektansi objek dari total radian TOA (*Top of Atmosphere*) setelah proses normalisasi kondisi pencahayaan dan penghapusan efek atmosfer.

Koreksi atmosfer pada data citra satelit terdapat 2 macam yaitu koreksi TOA (*Top of Atmosphere*) dan koreksi BOA (*Bottom of Atmosphere*) (Ulfa *et al.*, 2019).

Koreksi TOA (*Top of Atmosphere*) adalah koreksi yang dilakukan melalui kalibrasi radiometrik dengan cara mengubah *digital number* ke nilai reflektansi atau radian (Rahayu dan Candra, 2014). Hal ini bertujuan untuk menghilangkan distorsi radiometrik yang disebabkan oleh posisi matahari tanpa koreksi atmosfer.

Sedangkan koreksi BOA (*Bottom of Atmosphere*) diperoleh dari koreksi atmosfer.

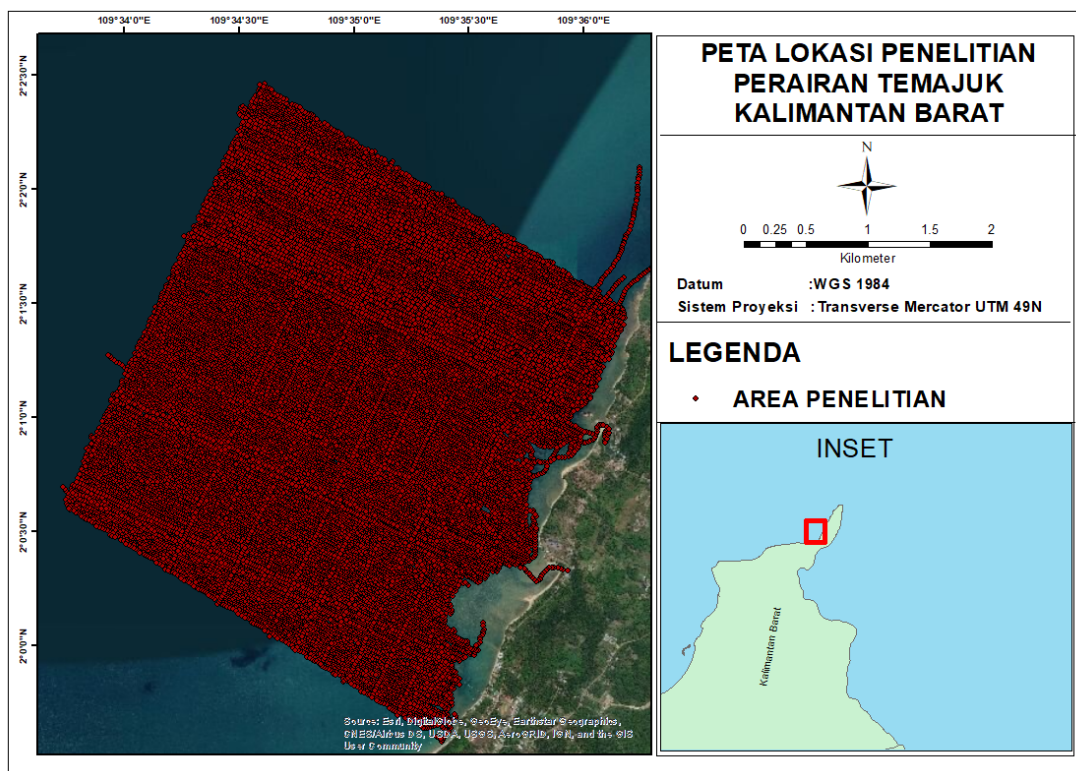
Koreksi atmosfer BOA (*Bottom of Atmosphere*) sangat diperlukan dalam proses koreksi radiometrik citra satelit. Hal ini disebabkan karena nilai spektral dari setiap objek mengalami penurunan setelah dilakukan koreksi BOA (*Bottom of Atmosphere*). Fenomena ini menunjukkan bahwa gangguan atmosfer setelah proses koreksi TOA (*Top of Atmosphere*) masih dapat diminimalkan dengan menggunakan koreksi BOA (*Bottom of Atmosphere*).



3. METODE PENELITIAN

3.1 Kondisi Umum Lokasi Penelitian

Daerah kajian penelitian mengenai estimasi kedalaman perairan ini berada di perairan Temajuk, Kalimantan Barat. Temajuk merupakan desa dibagian utara Provinsi Kalimantan Barat dan berbatasan langsung dengan Malaysia. Jaraknya hanya 4 km dari Telok Melano. Peta lokasi penelitian perairan temajuk dapat dilihat seperti pada (Gambar 1) berikut ini.



Gambar 1 Lokasi Penelitian

Desa Temajuk memiliki garis pantai yang panjang, yakni sekitar 60 km terhampar di sepanjang pesisir menuju ke Desa Temajuk. Desa ini berada di Kecamatan Paloh, Kabupaten Sambas. Pelabuhan ini merupakan wilayah perairan penting yang berada di kabupaten Sambas, dan kedepannya akan dikembangkan beberapa fasilitas Pelabuhan.

3.2. Alat dan Data Penelitian

Dalam proses penelitian ini, diperlukan beberapa alat dan data yang digunakan demi menunjang keberhasilan penelitian. Alat dan data yang akan digunakan dalam penelitian akan dijelaskan pada sub-sub bab berikut ini.

3.2.1 Alat

Alat-alat yang digunakan pada penelitian dapat dilihat pada (Tabel 3) berikut.

Tabel 3. Alat yang digunakan pada saat penelitian

No.	Nama Alat	Kegunaan
1.	Laptop	Pengolahan data kedalaman dan data citra satelit
2.	Software Hypack 15.0	Pengolahan data kedalaman dan koreksi pasang surut
3.	Software Q-GIS 3.4.12	Koreksi radiometrik citra sentinel-2A dan landsat 8
4.	ArcMap 10.3	Ekstraksi data kedalaman dengan data citra satelit, overlay data spasial, serta <i>layouting</i> peta.
5.	ENVI 5.1	Mengolah data citra landsat 8 dan citra sentinel -2A
6.	Microsoft Excel	Membantu pengolahan algoritma Van Hengel dan Spitzer dan analisis regresi linier sederhana

3.2.2 Data

Data-data yang digunakan pada saat penelitian dapat dilihat pada (Tabel 4) berikut.

Tabel 4. Data yang digunakan pada saat penelitian

No.	Nama Data	Tanggal Akuisisi	Sumber
1.	Citra Sentinel-2A	15 Mei 2019	scihub.copernicus.eu
2.	Citra Landsat 8	22 Mei 2019	earthexplorer.usgs.gov
3.	Data kedalaman hasil pemeruman	01 Mei – 30 Mei 2019	Operasi survei dan pemetaan Pushidrosal
4.	Data pasang surut hasil pengamatan lapang	01 Mei – 30 Mei 2019	Operasi survei dan pemetaan Pushidrosal

3.3 Prosedur Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan dalam beberapa tahapan. Tahapan pertama yaitu Identifikasi dan perumusan masalah serta studi literatur dari penelitian sebelumnya. Tahapan kedua yaitu pengambilan data penelitian. Tahapan ketiga yaitu pengolahan data penelitian, data yang olah dalam penelitian ini adalah data insitu kedalaman di perairan Temajuk Kalimantan Barat, serta data citra satelit Sentinel-2A dan citra satelit Landsat 8. Tahapan keempat adalah penyajian hasil akhir peta batimetri hasil pengukuran insitu dan peta batimetri hasil pengolahan dengan citra satelit. Tahap terakhir adalah analisis hasil penelitian yakni melakukan uji akurasi dan perbandingan antara data kedalaman insitu dengan kedalaman hasil citra satelit.

3.4 Metode Pengambilan Data

Metode pengambilan data insitu kedalaman di perairan Temajuk, Kalimantan

Barat penulis dapatkan langsung dari Pusat Hidrografi dan Oseanografi TNI AL, yang sebelumnya telah melakukan operasi survei dan pemetaan yang meliputi akuisisi, pengumpulan, pengolahan dan penyajian data Hidro-Oseanografi di Perairan Temajuk, Kalimantan Barat. Data tersebut selanjutnya dilakukan pengolahan oleh penulis dalam penelitian ini. Pengambilan data citra satelit pada penelitian ini penulis dapatkan langsung melalui situs resmi scihub.copernicus.eu dan earthexplorer.usgs.gov sebagai penyedia data citra Sentinel-2A dan satelit Landsat 8. Data tersebut selanjutnya dilakukan pengolahan oleh penulis dalam penelitian ini.

3.5 Prosedur Pengolahan Data

Prosedur pengolahan data terbagi menjadi tiga, yaitu data insitu kedalaman perairan, data citra satelit Sentinel-2A dan data citra satelit Landsat 8. Prosedur pengolahan data insitu kedalaman perairan dilakukan dengan cara melakukan pengolahan data hasil pemeruman dan pengolahan data pengukuran pasang surut melalui *software* Hypack 15.0, dimana pada *software* tersebut dilakukan koreksi pasang surut dan *cleaning noise*. *Output* akhir dari pengolahan data tersebut adalah data berformat (.xyz) yang merupakan data kedalaman perairan insitu.

Prosedur pengolahan data kedua yakni data citra satelit Sentinel-2A, terdiri dari kalibrasi radiometrik dan koreksi atmosfer, pemisahan objek darat dan air (*masking*), dan pengaplikasian algoritma Van Hengel dan Spitzer. Tahap selanjutnya adalah ekstraksi data kedalaman perairan insitu dengan nilai piksel citra hasil pengaplikasian algoritma Van Hengel dan Spitzer, dari hasil ekstraksi tersebut akan menghasilkan nilai kedalaman relatif citra. Langkah berikutnya adalah melakukan pemodelan regresi antara nilai kedalaman relatif dari pengolahan citra

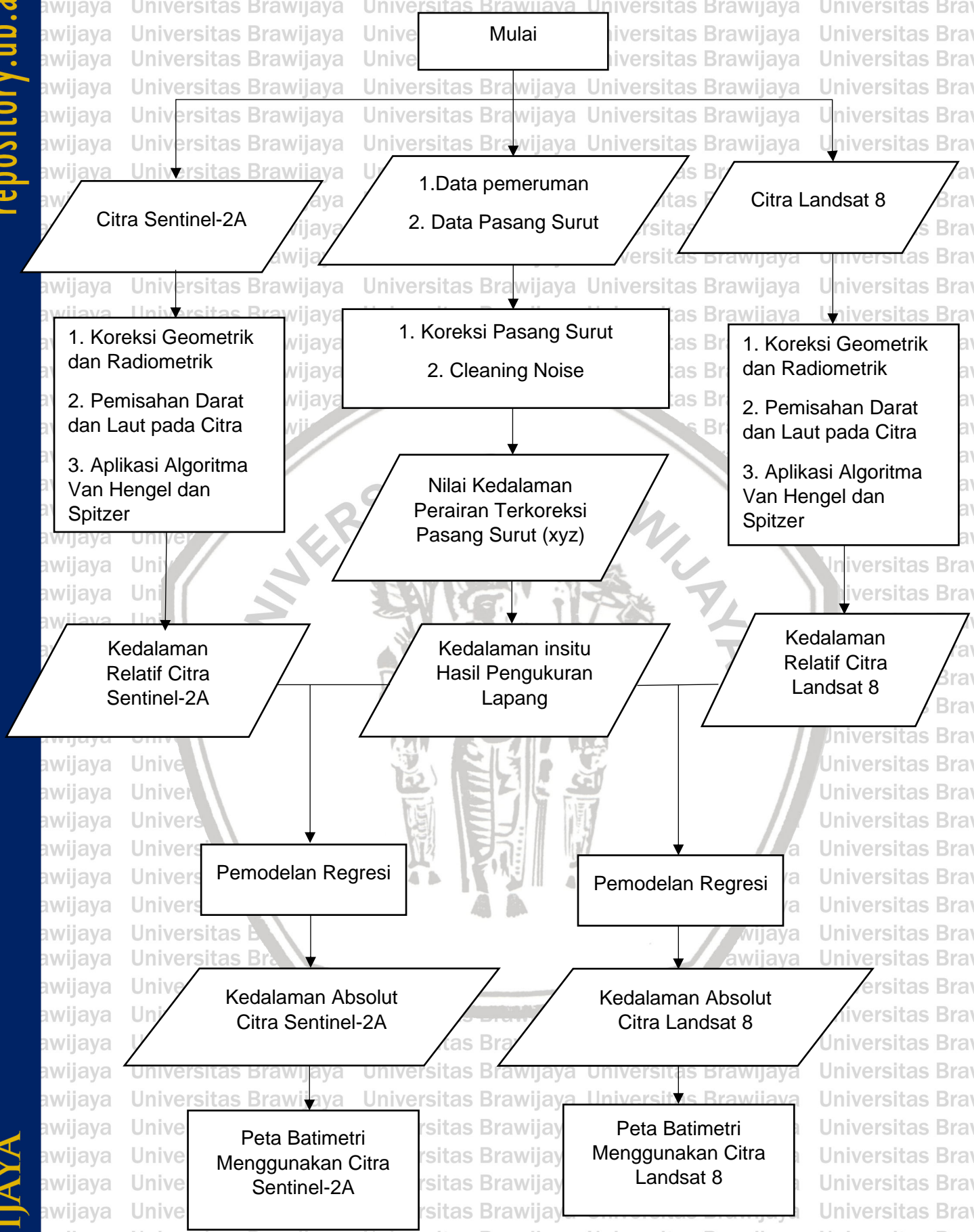
sentinel-2A dengan nilai kedalaman perairan insitu untuk mendapatkan nilai kedalaman absolut atau nilai kedalaman yang sebenarnya dari pengolahan citra satelit Sentinel-2A.

Prosedur pengolahan data ketiga yakni data citra satelit Landsat 8, terdiri dari kalibrasi radiometrik dan koreksi atmosfer, pemisahan objek darat dan air (*masking*), dan pengaplikasian algoritma Van Hengel dan Spitzer. Tahap selanjutnya adalah ekstraksi data kedalaman perairan insitu dengan nilai piksel citra Landsat 8 hasil pengaplikasian algoritma Van Hengel dan Spitzer, dari hasil ekstraksi tersebut akan menghasilkan nilai kedalaman relatif citra landsat 8.

Langkah berikutnya adalah melakukan pemodelan regresi antara nilai kedalaman relatif dari pengolahan citra Landsat 8 dengan nilai kedalaman perairan insitu untuk mendapatkan nilai kedalaman absolut atau nilai kedalaman yang sebenarnya dari hasil pengolahan citra satelit Landsat 8.

Setelah tahapan pengolahan data dilakukan, selanjutnya adalah penyajian hasil akhir peta batimetri dari hasil pengukuran insitu dan hasil pengolahan menggunakan citra satelit, kemudian dari hasil akhir peta batimetri tersebut, dilakukan uji akurasi dan perbandingan data antara hasil pengukuran insitu dengan hasil pengolahan menggunakan citra satelit Sentinel-2A dan Landsat 8.

Untuk lebih jelas alur pengolahan data dapat dilihat pada (Gambar 2) berikut.



Gambar 2 Alur Pengolahan Data



3.6. Pengolahan Data Kedalaman Perairan

Pengolahan data kedalaman yang didapat dari hasil pemeruman langsung diolah menggunakan *software* Hypack 15.0, langkah pengolahan data dimulai dengan memasukan data mentah yakni data pemeruman, data tersebut selanjutnya dilakukan koreksi pasang surut dan *cleaning noise*. Kegiatan ini perlu dilakukan dengan alasan kondisi tinggi muka air laut dan kedalaman laut bersifat tidak statis dan mengalami perubahan karena adanya air pasang surut laut.

Setelah semua data mentah sudah dimasukkan dan dilakukan koreksi surutan serta *cleaning noise* selanjutnya adalah *sort data* dan *export data* untuk mendapatkan *output data* (.xyz). Hasil *export data* selanjutnya digunakan untuk pemodelan regresi data kedalaman insitu dengan data kedalaman relatif citra yang nantinya akan menghasilkan kedalaman absolut citra.

3.7. Pengolahan Data Citra Sentinel-2A

3.7.1 Koreksi Geometrik Citra Sentinel-2A

Pada citra sentinel-2A level-1C yang diunduh sudah mencakup koreksi geometrik dengan *orthorektifikasi* (proses memposisikan kembali citra sesuai lokasi sebenarnya yang disebabkan karena pada saat peliputan data terjadi pergeseran posisi) dan citra level-1C telah terdaftar pada sistem referensi global dengan akurasi sampai sub-piksel. Sehingga tahapan proses koreksi geometrik tidak perlu dilakukan kembali pada citra sentinel-2A level-1C yang telah diunduh.

3.7.2 Koreksi Radiometrik Citra Sentinel-2A

Koreksi radiometrik diperlukan untuk memperbaiki kualitas visual citra dan memperbaiki nilai-nilai piksel yang tidak sesuai dengan nilai pantulan objek yang sebenarnya, dimana koreksi radiometrik dibagi menjadi dua yaitu, kalibrasi radiometrik dan koreksi atmosfer. Kalibrasi radiometrik bertujuan untuk mengubah nilai *digital number* (DN) menjadi nilai radian atau reflektan, tahapan ini akan

menghasilkan citra hasil koreksi TOA (*Top of Atmosphere*). Sedangkan koreksi atmosfer bertujuan untuk menurunkan reflektansi objek dari total radiansi TOA (*Top of Atmosphere*) setelah proses normalisasi kondisi pencahayaan dan penghapusan efek atmosfer, tahapan ini akan menghasilkan citra hasil koreksi BOA (*Bottom of Atmosphere*).

Untuk pengolahan estimasi kedalaman perairan dengan citra satelit tidak cukup hanya menggunakan citra hasil koreksi TOA (*Top of Atmosphere*) yang didapat dari tahap kalibrasi radiometrik, karena pada hasil koreksi TOA (*Top of Atmosphere*) hanya mampu menghilangkan distorsi radiometrik yang disebabkan oleh posisi matahari, sedangkan gangguan atmosferik lainnya masih ada, maka perlu merubah nilai reflektan TOA (*Top of Atmosphere*) menjadi BOA (*Bottom of Atmosphere*). Koreksi BOA diperoleh dari koreksi atmosfer, setelah dilakukan koreksi BOA nilai spektral dari setiap objek mengalami penurunan, fenomena ini menunjukkan bahwa gangguan atmosfer dapat diminimalkan dengan koreksi BOA.

Dengan menggunakan QGIS, dapat melakukan kalibrasi radiometrik dan koreksi atmosferik menggunakan model koreksi atmosferik yang sering digunakan yakni DOS (*Dark Object Subtraction*), dalam penelitian ini, koreksi radiometrik menggunakan metode *Dark Object Subtraction* (DOS) yang ada pada *Software* Q-GIS dengan memasukkan meta data file (MTD_MSIL1C) yang tersedia pada *file* data mentah Sentinel-2A yang telah diunduh. Prinsip koreksi atmosfer adalah untuk mengkonversi data citra sentinel-2A yang masih level-1C *top of atmosphere* (TOA) *reflectance* menjadi level-2A *bottom of Atmosphere* (BOA) *Reflectance*.

3.7.3 Pemisahan Perairan dan Daratan (Masking)

Masking adalah tahap untuk memisahkan daerah perairan dan darat dengan cara memblok nilai *digital number* (DN) darat dengan nilai nol. Tahap ini dilakukan agar daerah daratan tidak mempengaruhi perairan pada saat pemasukan

algoritma Van Hengel dan Splitzer dalam mengestimasi perairan dangkal. Pada proses *masking* ini menggunakan metode NDWI (*Normalized Difference Water Index*) untuk memisahkan datatan dan perairan.

$$NDWI = \frac{(RRS(\lambda_{RED}) - RRS(\lambda_{NIR}))}{(RRS(\lambda_{RED}) + RRS(\lambda_{NIR}))}$$

Dimana RRS (λ_{RED}) adalah citra kanal *Red* atau kanal 3 untuk citra Sentinel-2A sedangkan RRS (λ_{NIR}) adalah citra kanal *Near Infrared* atau kanal 8 untuk citra Sentinel-2A (Bobsaid dan Jealani, 2017).

3.7.4 Aplikasi Algoritma Van Hengel dan Spitzer

Algoritma yang dirumuskan oleh Van Hengel dan Spitzer merupakan algoritma transformasi nilai citra satelit untuk menghasilkan nilai kedalaman relatif air laut (Wahyuningrum *et al.*, 2008). Algoritma ini membutuhkan tiga masukan citra yang dirumuskan pada rumus dibawah ini.

$$\begin{bmatrix} Y1 \\ Y2 \\ Y3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(r) \cos(s) & \sin(r) \cos(s) & \sin(s) \\ -\sin(r) & \cos(r) & 0 \\ -\cos(r) \sin(s) & -\sin(r) \sin(s) & \cos(s) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X1 \\ X2 \\ X3 \end{bmatrix}$$

Keterangan:

- X1 : Citra Pertama
- X2 : Citra Kedua
- X3 : Citra Ketiga
- Y1 : Hasil Transformasi Utama
- Y2 dan Y3 : Hasil Samping Transformasi
- r dan s : Sudut arah rotasi



Persamaan matrik pada rumus diatas dapat dijabarkan kedalam bahasa matematika yaitu perkalian matrik 3x3 yang terdapat pada rumus dibawah ini:

$$\begin{aligned}
 Y1 &= X1 \cos(r) \cos(s) + X2 \sin(r) \cos(s) + X3 \sin(s) \\
 Y2 &= -X1 \sin(r) + X2 \cos(r) \\
 Y3 &= -X1 \cos(r) \sin(s) - X2 \sin(r) \sin(s) + X3 \cos(s)
 \end{aligned}$$

Nilai sudut arah rotasi (r dan s) dalam algoritma rumus diatas adalah konstanta yang diperoleh dari perhitungan dengan rumus dibawah ini yaitu sebagai berikut:

$$r(s) = \arctan(u + \sqrt{u^2 + 1})$$

Konstanta U diperoleh dari rumus dibawah ini:

$$U_r = \frac{\text{var } x_3 + \text{var } x_2}{2 \text{cov } x_2 x_3}$$

$$U_s = \frac{\text{Var } x_4 + \text{Var } x_2}{2 \text{Cov } x_2 x_4}$$

Keterangan:

Var xi : Nilai Varian Band i

Cov xi, xi : Covarian band i dan band i

3.7.5 Galat (Error) dan Residual Kedalaman insitu dengan Kedalaman Hasil

Citra Satelit Sentinel-2A

Penghitungan kedalaman dengan menggunakan *echosounder* maupun dengan penginderaan jauh tetap akan menimbulkan galat (*error*). Perhitungan galat (*error*) berdasarkan penelitian dilakukan oleh Wahyuningrum *et al.*, (2008) menggunakan rumus Chapra (1988) yang terdapat pada rumus dibawah ini.

$$ea = \left| \frac{A1 - A0}{A1} \right| \times 100\%$$

Keterangan:
 ea : Nilai galat
 A1 : Pengukuran kedalaman menggunakan survei echosounder
 A0 : Estimasi kedalaman menggunakan data penginderaan jauh



Selain mengetahui nilai galat (*error*) mengetahui nilai residual sangat penting untuk mengetahui apakah nilai kedalaman absolut hasil citra satelit mendekati nilai kedalaman insitu atau sebaliknya. Residual adalah selisih antara nilai kedalaman insitu dengan nilai kedalaman yang dihasilkan dari pengolahan citra satelit.

3.7.6 Perbandingan Data Citra Sentinel-2A dan Data Lapang

Salah satu cara dasar untuk membuat atau mengenali hubungan spasial dapat dilakukan melalui proses *overlay* spasial. *Overlay* spasial dikerjakan dengan melakukan operasi *join* dan menampilkan secara bersama sekumpulan data yang dipakai secara bersama atau berada dibagian area yang sama. Hasil kombinasi merupakan sekumpulan data yang baru yang mengidentifikasi hubungan spasial baru. (Handayani et al., 2005).

Untuk menggambarkan dan menyajikan informasi tentang hubungan antara data spasial secara visual digunakan *tools 3D Analyst* pada ArcMap 10.3. Dimana pada *tools* tersebut dapat merangkum secara numerik atau membandingkan distribusi pola data spasial dengan tabel serta grafik. *Tools 3D Analyst* digunakan untuk menginterpolasi ketinggian baik dalam bentuk titik, garis atau *polygon*. Sehingga dapat divisualisasikan dengan jelas data spasial yang landai dan curam.

3.8 Pengolahan Data Citra Landsat 8

3.8.1 Koreksi Geometrik

Dari data landsat 8 yang telah diunduh, sudah terdapat informasi seputar GCP (*ground control point*) beserta RMSE (*Root Mean Square Error*), sebagai contoh, GCP (*ground control point*) yang dipakai dalam penelitian ini adalah 60 titik dengan RMSE total adalah 8,774 m (bukan piksel), dan RMSE pada arah X dan Y masing-masing 6,4 m dan 5,9 m, Sehingga kesimpulannya data landsat 8 yang

dilepas ke publik berupa produk L1T telah terbebas dari kesalahan akibat sensor, satelit dan bumi sehingga tidak perlu koreksi geometrik lagi.

3.8.2 Koreksi Radiometrik

Koreksi radiometrik diperlukan untuk memperbaiki kualitas visual citra dan memperbaiki nilai-nilai piksel yang tidak sesuai dengan nilai pantulan objek yang sebenarnya, dimana koreksi radiometrik dibagi menjadi dua yaitu, kalibrasi radiometrik dan koreksi atmosfer. Kalibrasi radiometrik bertujuan untuk mengubah nilai *digital number* (DN) menjadi nilai radian atau reflektan, tahapan ini akan menghasilkan citra hasil koreksi TOA (*Top of Atmosphere*). Sedangkan koreksi atmosfer bertujuan untuk menurunkan reflektansi objek dari total radian TOA setelah proses normalisasi kondisi pencahayaan dan penghapusan efek atmosfer, tahapan ini akan menghasilkan citra hasil koreksi BOA (*Bottom of Atmosphere*).

Untuk pengolahan estimasi kedalaman perairan dengan citra satelit tidak cukup hanya menggunakan citra hasil koreksi TOA (*Top of Atmosphere*) yang didapat dari tahap kalibrasi radiometrik, karena pada hasil koreksi TOA (*Top of Atmosphere*) hanya mampu menghilangkan distorsi radiometrik yang disebabkan oleh posisi matahari, sedangkan gangguan atmosferik lainnya masih ada, maka perlu merubah nilai reflektan TOA (*Top of Atmosphere*) menjadi BOA (*Bottom of Atmosphere*). Koreksi BOA diperoleh dari koreksi atmosfer, setelah dilakukan koreksi BOA nilai spektral dari setiap objek mengalami penurunan, fenomena ini menunjukkan bahwa gangguan atmosfer dapat diminimalkan dengan koreksi BOA.

Dengan menggunakan QGIS sekarang dapat melakukan kalibrasi radiometrik dan koreksi atmosferik menggunakan model koreksi atmosferik yang sering digunakan yakni DOS (*Dark Object Substaction*). Dalam penelitian ini, koreksi atmosfer menggunakan metode *Dark Object Substraction* (DOS) yang ada pada *Software* Q-GIS 3.4.12 dengan memasukkan *metadata file*

(LC08_L1TP_122059_20190522_20190604_01_T1_MTL) yang tersedia pada *file* data mentah Landsat 8 yang telah diunduh. Prinsip koreksi atmosfer adalah untuk mengkonversi data citra Landsat 8 yang masih level *top of atmosphere* (TOA) *reflectance* menjadi level *bottom of Atmosphere* (BOA) *Reflectance*.

3.8.3 Pemisahan Perairan dan Daratan (Masking)

Masking adalah tahap untuk memisahkan daerah perairan dan darat dengan cara memblok nilai *digital number* (DN) darat dengan nilai nol. Tahap ini dilakukan agar daerah daratan tidak mempengaruhi perairan pada saat pemasukan algoritma Van Hengel dan Splitzer dalam mengestimasi perairan dangkal. Pada proses *masking* ini menggunakan metode NDWI (*Normalized Difference Water Index*) untuk memisahkan datatan dan perairan. Rumus NDWI adalah sebagai berikut:

$$NDWI = \frac{(RRS(\lambda_{RED}) - RRS(\lambda_{NIR}))}{(RRS(\lambda_{RED}) + RRS(\lambda_{NIR}))}$$

Dimana RRS (λ_{RED}) adalah citra kanal *Red* atau kanal 3 untuk citra Landsat 8 sedangkan RRS (λ_{NIR}) adalah citra kanal *Near Infrared* atau kanal 5 untuk citra Landsat 8. Pemilihan rasio *band 5* dan *band 3* dengan alasan bahwa *band 5* merupakan *band* inframerah yang memiliki daya serap tinggi terhadap objek air dan *band 3* memiliki daya tembus yang besar dalam kolom air, apabila nilai spektral *band 5* kecil dan nilai spektral *band 3* tinggi maka nilai dibawah 1 merupakan objek air (Wahyuningrum *et al.*, 2008).

3.8.4 Aplikasi Algoritma Van Hengel dan Spitzer

Algoritma yang dirumuskan oleh Van Hengel dan Spitzer merupakan algoritma transformasi nilai citra satelit untuk menghasilkan nilai kedalaman relatif air laut (Wahyuningrum *et al.*, 2008). Kombinasi *band* merah, *band* hijau dan *band* biru pada landsat 8 merupakan kombinasi band terbaik dalam pengaplikasian

algoritma VHS yang digunakan untuk mengetahui estimasi kedalaman perairan atau bisa disebut juga kedalaman relatif (Setiawan, *et al.*, 2014). Algoritma ini membutuhkan tiga masukan citra yang dirumuskan pada rumus dibawah ini.

$$\begin{bmatrix} Y1 \\ Y2 \\ Y3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(r) \cos(s) & \sin(r) \cos(s) & \sin(s) \\ -\sin(r) & \cos(r) & 0 \\ -\cos(r) \sin(s) & -\sin(r) \sin(s) & \cos(s) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X1 \\ X2 \\ X3 \end{bmatrix}$$

Keterangan:

X1 : Citra Pertama

X2 : Citra Kedua

X3 : Citra Ketiga

Y1 : Hasil Transformasi Utama

Y2 dan Y3 : Hasil Samping Transformasi

r dan s : Sudut arah rotasi

Persamaan matrik pada Rumus diatas dapat dijabarkan kedalam bahasa matematika yaitu perkalian matrik 3x3 yang terdapat pada rumus dibawah ini:

$$\begin{aligned} Y1 &= X1 \cos(r) \cos(s) + X2 \sin(r) \cos(s) + X3 \sin(s) \\ Y2 &= -X1 \sin(r) + X2 \cos(r) \\ Y3 &= -X1 \cos(r) \sin(s) - X2 \sin(r) \sin(s) + X3 \cos(s) \end{aligned}$$

Nilai sudut arah rotasi (r dan s) dalam algoritma diatas adalah konstanta yang diperoleh dari perhitungan dengan rumus dibawah ini yaitu sebagai berikut:

$$r(s) = \arctan(u + \sqrt{u^2 + 1})$$

Konstanta U diperoleh dari rumus dibawah ini

$$\begin{aligned} Ur &= \frac{Var x3 + Var x2}{2 Cov x2x3} \\ Us &= \frac{Var x4 + Var x2}{2 Cov x2x4} \end{aligned}$$



Keterangan:

Var x_i : Nilai Varian Band i

Cov x_i, x_j : Covarian band i dan band j

3.8.5 Galat (*Error*) dan Residual Kedalaman insitu dengan Kedalaman Hasil Citra Satelit Landsat 8

Penghitungan kedalaman dengan menggunakan *echosounder* maupun dengan penginderaan jauh tetap akan menimbulkan galat (*error*). Perhitungan galat (*error*) berdasarkan penelitian dilakukan oleh Wahyuningrum et al., (2008) menggunakan rumus Chapra (1988) yang terdapat pada rumus dibawah ini.

$$\epsilon_a = \left| \frac{A1 - A0}{A1} \right| \times 100\%$$

Keterangan:
 ϵ_a : Nilai galat
 $A1$: Pengukuran kedalaman menggunakan survei *echosounder*
 $A0$: Estimasi kedalaman menggunakan data penginderaan jauh

Selain mengetahui nilai galat (*error*) mengetahui nilai residual sangat penting untuk mengetahui apakah nilai kedalaman absolut hasil citra satelit mendekati nilai kedalaman insitu atau sebaliknya. Residual adalah selisih antara nilai kedalaman insitu dengan nilai kedalaman yang dihasilkan dari pengolahan citra satelit.

3.8.6 Perbandingan Data Citra Landsat 8 dan Data Lapang

Salah satu cara dasar untuk membuat atau mengenali hubungan spasial dapat dilakukan melalui proses *overlay* spasial. *Overlay* spasial dikerjakan dengan melakukan operasi *join* dan menampilkan secara bersama sekumpulan data yang dipakai secara bersama atau berada dibagian area yang sama. Hasil kombinasi merupakan sekumpulan data yang baru yang mengidentifikasi hubungan spasial baru (Handayani et al., 2005).



Untuk menggambarkan dan menyajikan informasi tentang hubungan antara data spasial secara visual digunakan *tools 3D Analyst* pada ArcMap 10.3. Dimana pada *tools* tersebut dapat merangkum secara numerik atau membandingkan distribusi pola data spasial dengan tabel serta grafik. *Tools 3D Analyst* digunakan untuk menginterpolasi ketinggian baik dalam bentuk titik, garis atau polygon. Sehingga dapat divisualisasikan dengan jelas data spasial yang landai dan curam.

3.9 Uji Akurasi

Perbandingan nilai kedalaman yang dihasilkan dari pengolahan data citra Sentinel-2A dan Landsat 8 dengan nilai kedalaman hasil pemeruman dilakukan untuk melihat perbedaan maupun persamaan data yang dihasilkan. Kemudian pada akhirnya dapat disimpulkan apakah data hasil pengolahan citra Sentinel-2A lebih baik dibandingkan Landsat 8 ataupun sebaliknya.

Metode uji akurasi yang digunakan adalah regresi linier sederhana dan RMSE (*Root Mean Square Error*). Pada regresi linier sederhana menggunakan variabel X dan Y, yakni apabila dua variabel X dan Y mempunyai hubungan disebut dengan korelasi, maka perubahan nilai variabel yang satu akan mempengaruhi nilai variabel lainnya. Kuat tidaknya hubungan variabel diukur dengan suatu nilai yang disebut koefisien korelasi, untuk mengetahui besarnya pengaruh X terhadap Y diukur dengan koefisien regresi. Kedalaman hasil pemeruman merupakan variabel X dan variabel Y sebagai data kedalaman air relatif (Y1). Proses regresi ini dilakukan untuk menghasilkan persamaan regresi yang digunakan untuk mencari nilai kedalaman absolut yaitu nilai kedalaman sebenarnya dari proses pengolahan citra (Bobsaid dan Jaelani, 2017).

Menurut (Fadilah *et al.*, 2018), dalam perhitungan prediksi kedalaman memerlukan evaluasi prediksi kedalaman, hal ini dilakukan dengan evaluasi

menggunakan rumus R^2 dan juga RMSE (*Root Mean Square Error*) sebagai berikut:

1. R^2

R^2 adalah metode untuk mengukur ketersebaran dalam datanya itu sendiri, jika nilai mendekati angka 1 maka data yang cukup bermacam-macam itu sudah tertangani dengan baik baik dalam model regresi linier yang dibentuk.

Rumus untuk mendapatkan nilai koefisien determinasi (R^2) adalah sebagai berikut:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (h_i - \hat{h}_i)^2}{\sum (h_i - \bar{h})^2}$$

Dimana:
 h_i = Kedalaman pengukuran
 \hat{h}_i = Kedalaman estimasi
 \bar{h} = Rata-rata nilai kedalaman
 n = jumlah titik
 R^2 = Koefisien determinasi

2. RMSE

RMSE (*Root Mean Square Error*) adalah metode untuk mengevaluasi teknik peramalan yang digunakan untuk mengukur tingkat akurasi hasil perkiraan dari suatu model. RMSE merupakan nilai rata-rata dari jumlah kuadrat kesalahan, juga dapat menyatakan ukuran besarnya kesalahan yang dihasilkan oleh suatu model perkiraan. Adapun rumus RMSE sebagai berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (\Delta h_i - \Delta \hat{h}_i)^2}{n}}$$

Dimana:
 Δh_i = Selisih kedalaman pengukuran
 $\Delta \hat{h}_i$ = Selisih kedalaman estimasi
 n = jumlah titik
 RMSE = Nilai rata-rata dari jumlah kuadrat kesalahan



4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengolahan Data Lapang

4.1.1 Pengukuran Pasang Surut

Hasil pengukuran pasang surut didapatkan dari data (pengamatan lapang) di perairan Temajuk, Kalimantan Barat yang dilakukan pada tanggal 01 Mei 2019

– 30 Mei 2019 dari pukul 06.00-23.45 WIB. Dimana dalam pengukuran pasang surut tersebut menggunakan rumus koreksi kedalaman sebagai berikut:

$$rt = (TWL_t - (MSL + Z_0))$$

(Rinaldy *et al.*, 2014)

keterangan:

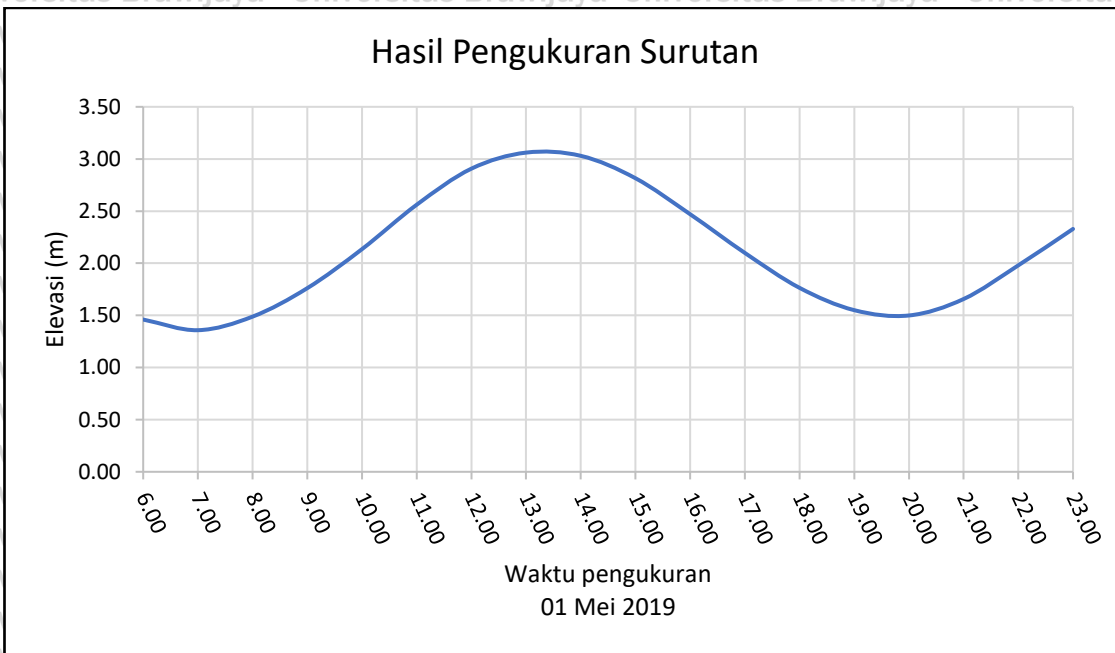
rt: Besarnya reduksi pada data pengukuran (kedalaman)

TWL_t: Tinggi kedudukan muka laut pada waktu pengukuran

MSL: Tinggi kedudukan muka air laut rata-rata

Z₀: Tinggi kedudukan muka surutan

Setelah didapatkan hasil *rt* (reduksi pada data kedalaman) selanjutnya untuk mendapatkan data kedalaman sebenarnya, data hasil pengukuran batimetri tersebut dilakukan koreksi pasang surut, hal tersebut dilakukan karena data hasil pengukuran batimetri yang dilakukan tidak dapat langsung diolah melainkan dikurangi dengan nilai surutannya. Data hasil pengolahan surutan selama 30 hari dapat dilihat pada (Lampiran 1), untuk Grafik pasang surut untuk koreksi kedalaman perairan dapat dilihat pada (Gambar 3) dibawah ini.



Gambar 3 Hasil Pengukuran Surutan

4.1.2 Pengukuran Kedalaman

Data pengukuran kedalaman yang digunakan didapatkan dari echosounder Odom Echotrac. Data pemeruman tersebut dihasilkan dari proses pemeruman Pusat Hidrografi dan Oseanografi TNI AL yang dilakukan pada tanggal 1-30 Mei 2019. Data kedalaman insitu tersebut kemudian dikurangi dengan nilai surutan (koreksi pasang surut) yang dilakukan otomatis dengan bantuan software Hypack 15.0 seperti yang terdapat di (Lampiran 2), dimana dari software tersebut kemudian akan didapatkan data kedalaman sebenarnya dari perairan. Hasil pengukuran kedalaman menghasilkan data X sebagai *latitude*, Y adalah *longitude* dan Z adalah kedalaman hasil pemeruman, yang kemudian dilakukan *sort data* dan diolah melalui *Microsoft Excel*. Untuk lebih jelasnya hasil mengenai hasil *sort data* yang dilakukan dapat dilihat pada (Tabel 5) berikut ini.

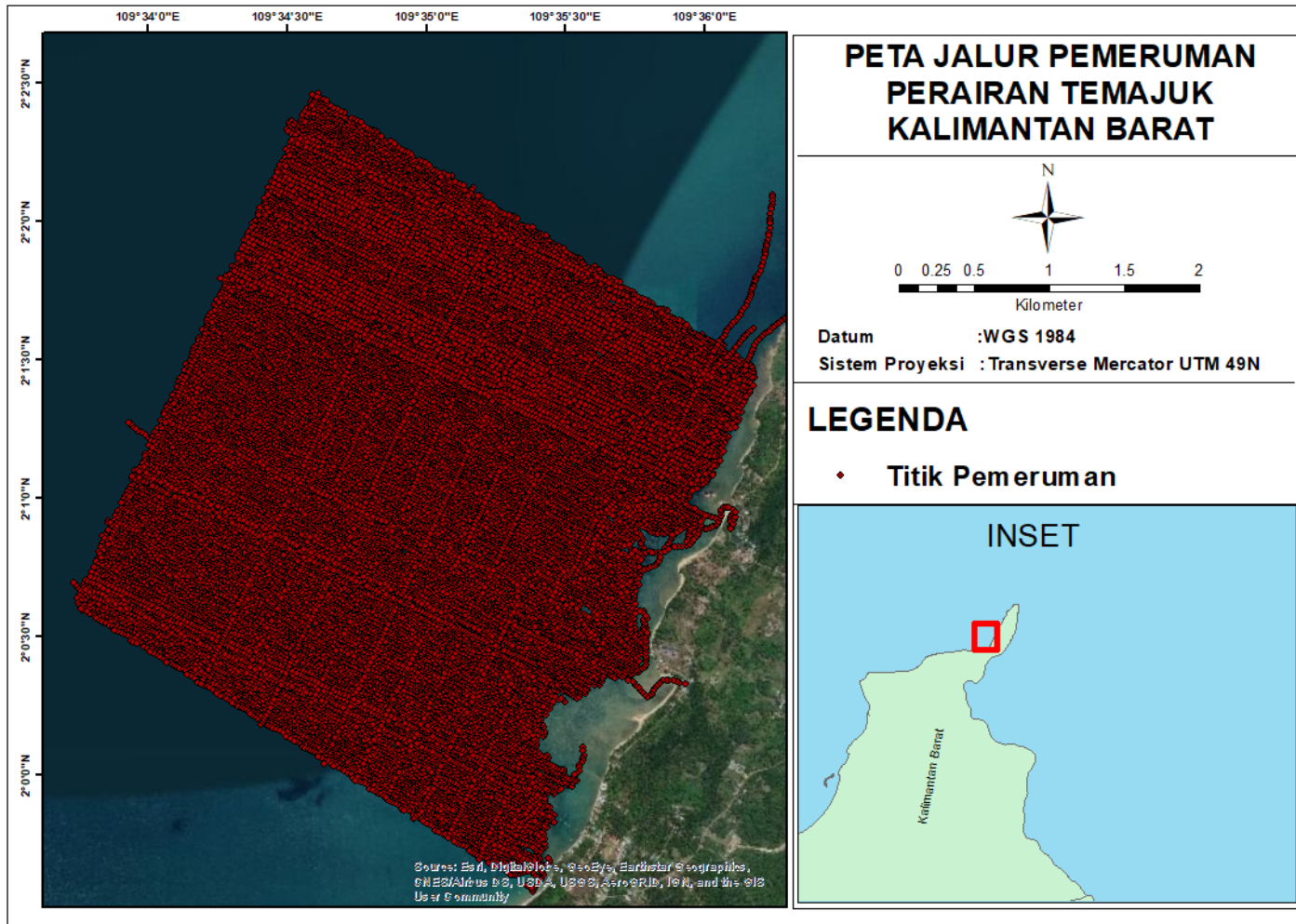
Tabel 5 Contoh hasil *sounding*

ZONE	LATITUDE (X)	LONGITUDE (Y)	KEDALAMAN (m)
49 N	343046	222220	5.18
49 N	343017	222232	5.50
49 N	342971	222256	6.08
49 N	342916	222281	6.63
49 N	342589	222437	7.40
49 N	342223	222605	7.50
49 N	341544	222925	7.62
49 N	341503	222945	7.46
49 N	341402	222987	7.45
49 N	341284	223045	7.51
49 N	341249	223060	7.55
49 N	341214	223076	7.51
49 N	340832	223256	7.51
49 N	340751	223291	7.53

Jalur yang dilewati perahu saat pengukuran kedalaman dapat dilihat pada (Gambar 4) Pada jalur tersebut dapat dilihat pada saat pemeruman terdapat 2 lajur pemeruman. Lajur pertama adalah lajur pemeruman utama yang tegak lurus dengan garis pantai, lajur ini harus mencakup keseluruhan wilayah penelitian.

Lajur kedua adalah lajur silang atau *cross section* dengan bentuk lajur sejajar dengan garis pantai, yang dibuat sebagai alur cek silang dalam validasi data perum. Lajur hasil pemeruman ditandai dengan titik perum berwarna merah.



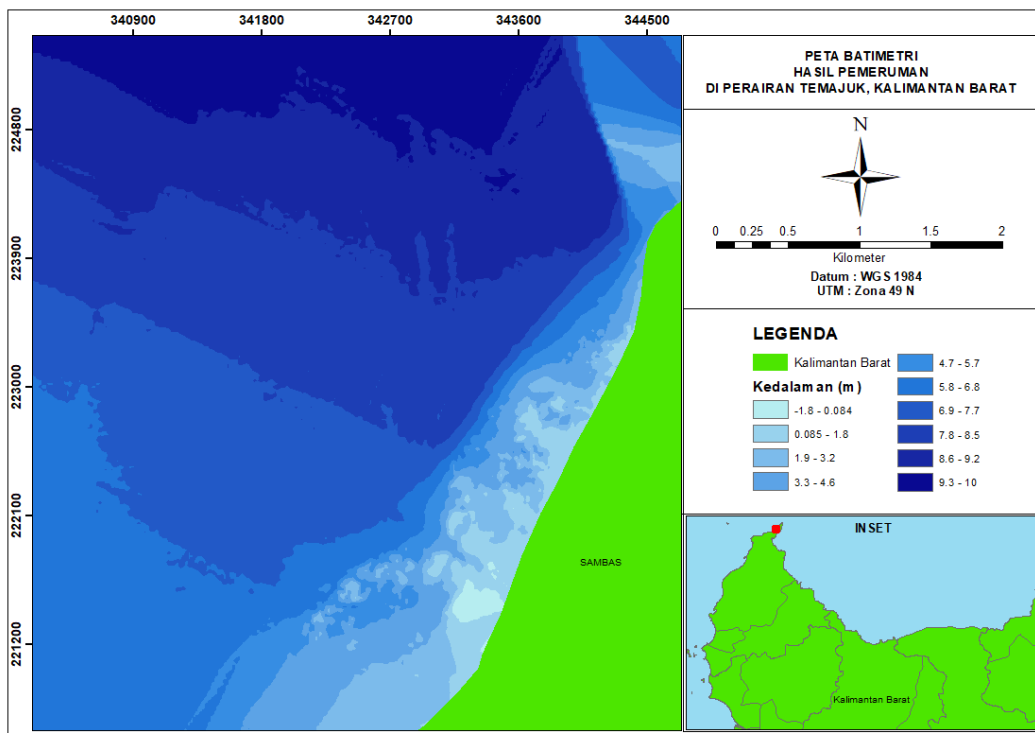


Gambar 4 Jalur Hasil Pemeruman Perairan Temajuk

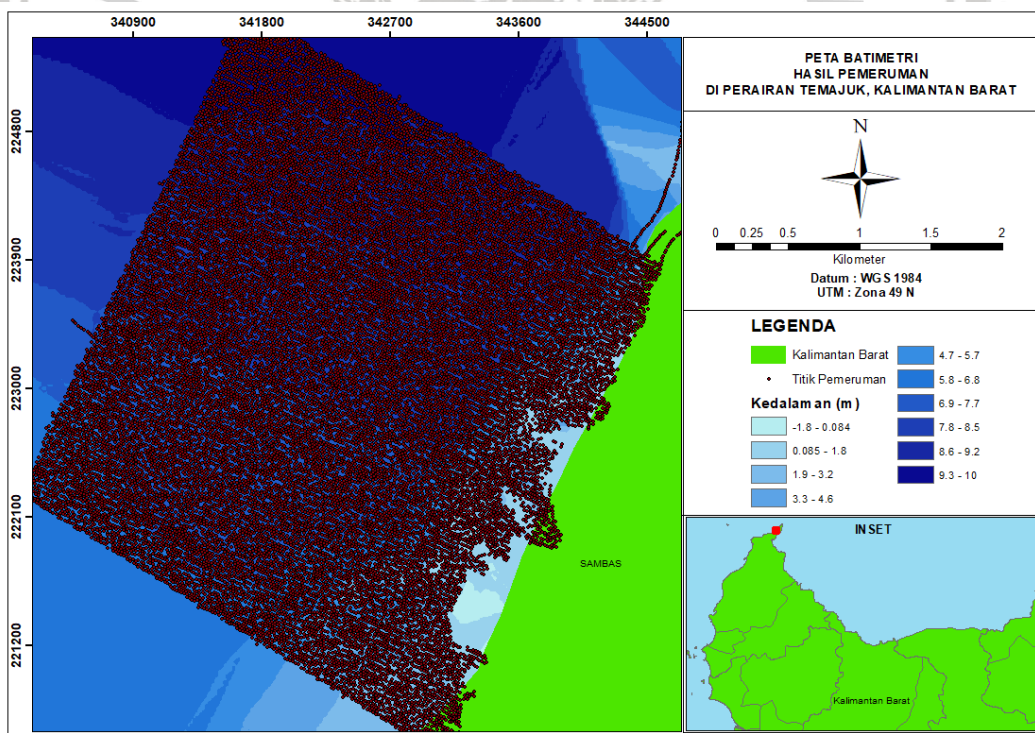
4.1.3 Peta Batimetri Hasil Pemeruman

Data kedalaman perairan temajuk Kalimantan barat yang telah dikoreksi dengan pasang surutnya, kemudian diolah menggunakan ArcMap 10.3 dengan memanfaatkan metode interpolasi *kriging semivariogram model linier*. Hal tersebut dipilih mengingat karena pengambilan data yang sistematis dan menyebar serta kemampuan metode ini yang sangat fleksibel dalam mengolah berbagai tipe data (Fuad *et al.*, 2016). Metode *kriging* merupakan estimasi *stokastik* yang mirip dengan IDW, menggunakan kombinasi linear dari *weights* untuk memperkirakan nilai di antara sampel data. Metode ini dikembangkan oleh D.L. Krige. *Kriging* mengasumsikan data menyebar secara normal, dimana jarak dan orientasi antara sampel data menunjukkan korelasi spasial. Model ini memberikan ukuran *error* dan *confidence*. Model ini juga menggunakan *semivariogram* yang merepresentasikan perbedaan spasial dan nilai di antara semua pasangan sampel data (Hadi, 2013).

Hasil peta kontur kedalaman 2D dapat dilihat pada (Gambar 5). Pada gambar tersebut dapat dilihat jika semakin tua atau gelap warna biru maka semakin dalam perairan. Peta kontur kedalaman perairan Temajuk memiliki kedalaman antara 0.01 m sampai 10.13 m yang kemudian dibagi menjadi 10 kelas. Pada (Gambar 6) merupakan hasil dari peta kontur kedalaman 2D yang di *overlay* dengan titik jalur pemeruman untuk mengetahui cakupan daerah interpolasinya.



Gambar 5 Peta Batimetri 2D Hasil Pemeruman Perairan Temajuk

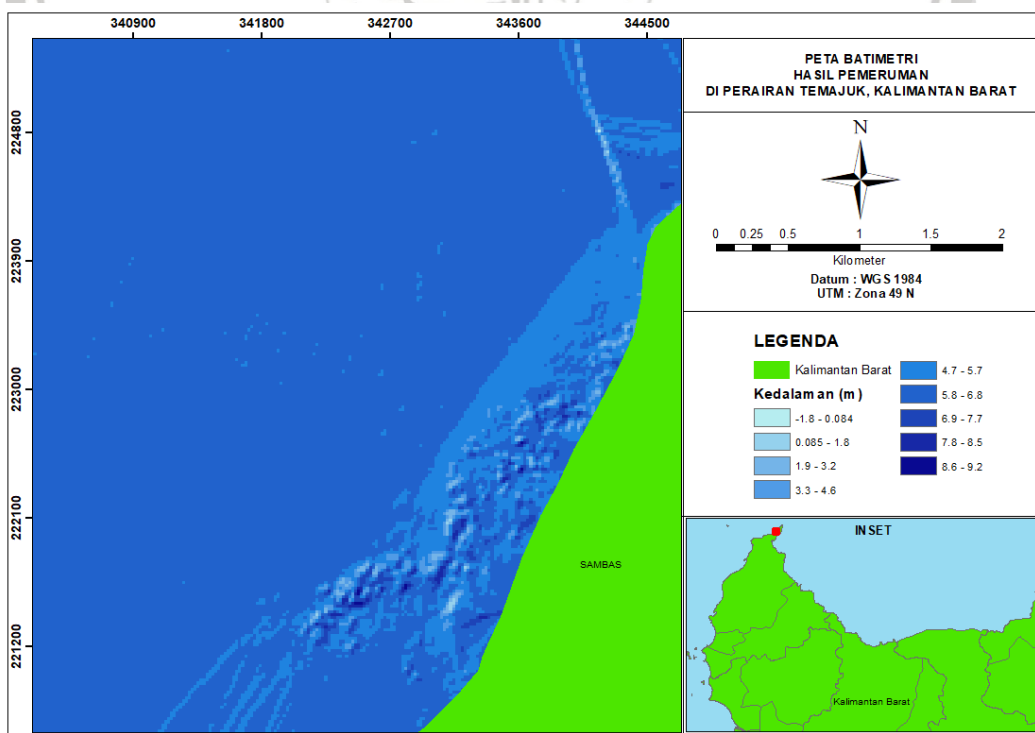


Gambar 6 Peta Batimetri 2D dengan Overlay Titik Pemeruman

Pembuatan *shaded relief* kedalaman perairan Temajuk, Kalimantan Barat diolah menggunakan ArcMap 10.3 dengan memanfaatkan metode *Hillshade*.

Metode *Hillshade* digunakan untuk mempresentasikan gambaran *relief* sebuah wilayah pada sebuah data *raster* yang masih dalam *format* 2D dengan cara memberikan kesan 3D pada data *raster* tersebut. Pemberian kesan 3D tersebut dapat dilakukan dengan cara pemberian teknik pencahayaan dan bayangan yang tepat pada sebuah data *raster*.

Peta *shaded relief* kedalaman perairan Temajuk hasil pemeruman dapat dilihat pada (Gambar 7). Pada gambar tersebut dapat dilihat jika semakin jauh dari pantai maka kedalaman perairan semakin bertambah dengan ditandai warna biru tua dan juga sebaliknya. Pada daerah dekat pantai dapat dilihat jika kedalaman perairan relatif dangkal dengan ditandai warna biru muda. Hal ini menunjukkan kedalaman perairan akan bertambah seiring dengan bertambahnya jarak dari garis pantai.

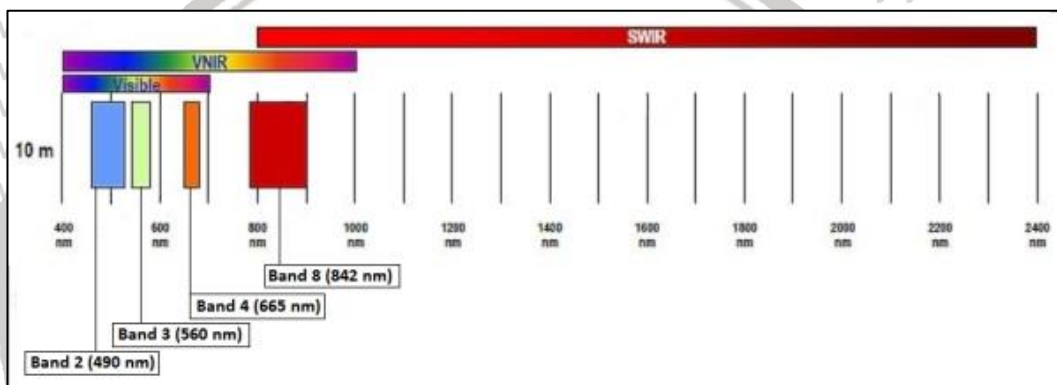


Gambar 7 Peta Batimetri Shaded Relief Perairan Temajuk Kalimantan Barat

4.2 Hasil Pengolahan Data Citra Sentinel-2A

4.2.1 Koreksi Radiometrik

Koreksi Radiometrik dilakukan pada *band 4 (Red)* *band 3 (Green)* *band 2 (Blue)* dan *band 8 (NIR)*. Seluruh *band* yang digunakan dalam proses koreksi radiometrik adalah *band* yang memiliki resolusi sebesar 10 m. Masing-masing *band* memiliki panjang gelombang sebesar 665nm untuk *band 4*, 560nm untuk *band 3*, 490 nm untuk *band 2*, serta 842 nm untuk *band 8*. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada (Gambar 8)

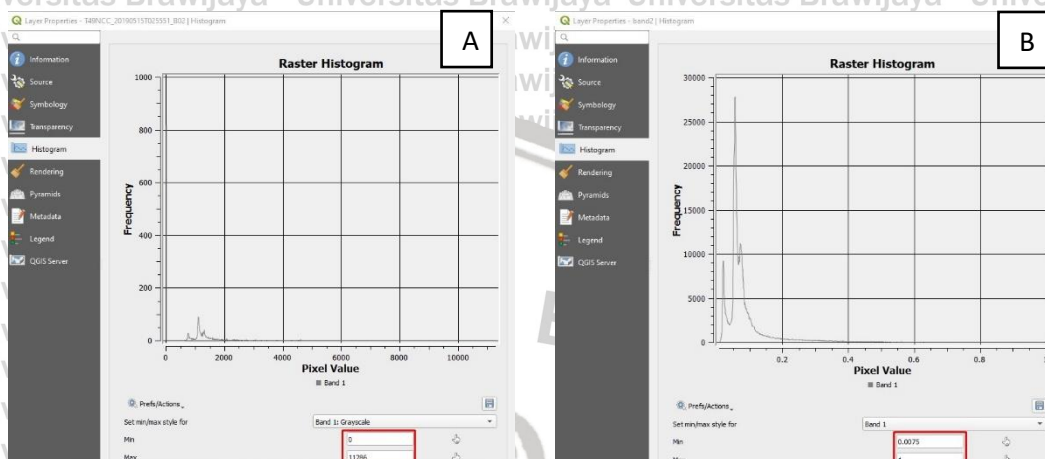


Gambar 8 Resolusi Band 10m

Kalibrasi radiometrik dan Koreksi atmosfer dilakukan dengan menggunakan bantuan aplikasi QGIS Versi 3.4.12 dengan bantuan *plugin Semi-Automatic Classification Plugin*. Hasil kalibrasi radiometrik dan koreksi atmosfer pada Citra Sentinel-2A dan perbedaan angka *actual input limit band* sebelum dan sesudah koreksi radiometrik pada band 4,3,2 citra sentinel-2A dapat dilihat pada (Lampiran 3).

Koreksi radiometrik diperlukan untuk mengkoreksi *noise* pada citra dengan mengubah nilai *digital number (DN)* pada citra menjadi nilai reflektan (pantulan). Pada (Gambar 9) menunjukkan angka *actual input limit band 2* sebelum dan sesudah dilakukan kalibrasi radiometrik dan koreksi atmosfer. *Band 2* sebelum kalibrasi radiometrik dan koreksi atmosfer memiliki angka *actual input limit* yang

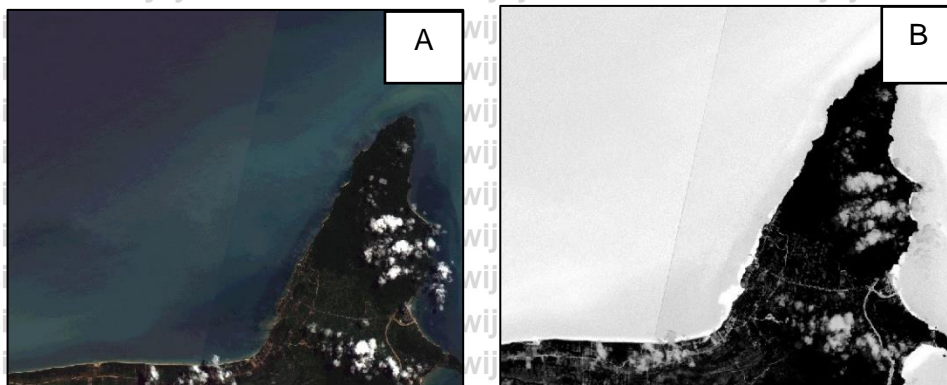
menunjukkan nilai minimum dan nilai maksimum yaitu 0 - 11286. Setelah dilakukan kalibrasi radiometrik dan koreksi atmosfer angka *actual input limit band 2* berubah menjadi 0.0075 - 1. Nilai tersebut adalah nilai yang digunakan dalam terapan algoritma Van Hengel dan Splitzer.



Gambar 9 Sentinel 2A sebelum (A) dan sesudah (B) koreksi radiometrik

4.2.2 Pemisahan Air dan Darat Pada Citra (*Masking*)

Penelitian ini difokuskan pada wilayah laut saja sehingga objek bukan laut harus dihilangkan. Tahapan ini diperlukan agar objek bukan laut tidak memberikan kontribusi dalam analisis data pada tahap selanjutnya. Pemisahan objek dilakukan dengan cara memberikan nilai nol untuk objek bukan laut. Citra hasil *masking* ini disimpan menjadi data *raster* yang digunakan pada pengolahan selanjutnya. Pada (Gambar 10) dapat dilihat bahwa citra sesudah dilakukan *masking area* daratannya diberi warna hitam yang mengartikan bahwa area tersebut adalah objek bukan laut. Berikut adalah tampilan citra sentinel-2A sebelum dan sesudah dilakukan *masking*.



Gambar 10 Citra Sentinel 2A sebelum (A) dan sesudah (B) dilakukan *masking*

4.2.3 Aplikasi Algoritma Van Hengel dan Spitzer

Band yang digunakan dalam algoritma Van Hengel dan Spitzer adalah *band* yang memiliki respon spektral terbaik untuk objek perairan yaitu *band* merah, hijau dan biru (Wahyuningrum *et al.*, 2008). Tahap pertama dalam pengolahan citra menggunakan algoritma Van Hengel dan Spitzer adalah menentukan nilai arah rotasi citra (r dan s). Hasil perhitungan konstanta r dan s dengan kombinasi *band* 432 sentinel-2A yang dihitung berdasarkan nilai varian dan kovarian *band* 432 dapat dilihat pada (Tabel 6) berikut ini.

Tabel 6 Hasil perhitungan variabel kombinasi band 432 Sentinel-2A

Variabel	Nilai
Varian Band 2	0,000732
Varian Band 3	0,000761
Varian Band 4	0,000916
Kovarian band 4 dan band 3	0,000821
Kovarian band 2 dan band 4	0,000805
U_r	1,183365
U_s	1,021295
$\text{Cos } r$	1,023331
$\text{Sin } r$	0,377812
s	0,925882
$\text{Sin } s$	1,183862
$\text{Cos } s$	0,926070
	0,377351

Dari (Tabel 6) dapat dilihat bahwa nilai konstanta r dan s hasil Sentinel-2A masing-masing memiliki nilai 1,183365° dan 1,183862°. Nilai dari konstanta r dan s menunjukkan arah rotasi citra yang nantinya akan digunakan dalam algoritma Van Hengel dan Spitzer. Setelah didapatkan konstanta r dan s kemudian dilakukan pengolahan citra menggunakan algoritma Van Hengel dan Spitzer. Rumus yang digunakan dalam perhitungan ini hanya Y1, karena Y1 merupakan menunjukkan nilai kedalaman relatif dan Y2 dan Y3 hanya merupakan hasil sampingan dari pengolahan dan belum diketahui informasi apa yang terkandung di dalam nilai pikselnya (Wahyuningrum et al., 2008). Rumus yang digunakan dalam aplikasi Algoritma Van Hengel dan Spitzer adalah sebagai berikut $Y = [\cos (r) * \sin (s) * X2] + [\sin (r) * \cos (s) * X3] + [\sin (s) * X4]$.

Untuk mengestimasi kedalaman air laut dari citra satelit tidak seluruhnya murni dari hasil pengolahan citra satelit, tetapi membutuhkan data kedalaman air laut yang sudah diketahui kedalamannya sebenarnya. Nilai digital Y1 hasil algoritma Van Hengel dan Splitzer yang menunjukkan kedalaman relatif dari citra diregresikan dengan nilai kedalaman air laut hasil pemeruman insitu. Sumbu X sebagai kedalaman lapang dan sumbu Y sebagai data kedalaman air relatif hasil citra. Persamaan regresi dengan algoritma Van Hengel dan Spitzer menjadi persamaan untuk menentukan kedalaman laut dapat dilihat pada Tabel 7 berikut

Tabel 7 Persamaan regresi penentuan kedalaman absolut citra Sentinel-2A

Citra Satelit	Kombinasi Band	Persamaan regresi linear sederhana	Persamaan Untuk Kedalaman Absolut Citra
Sentinel-2A	432	$y = 0,0061x + 0,0321$	$Z = (0,0321 - KR) / 0,0061$

Keterangan= KR: Kedalaman relatif, Z: Kedalaman Absolut Citra

Untuk memudahkan pembacaan hasil estimasi kedalaman laut melalui citra, maka hasil pengolahan tersebut disajikan dalam bentuk peta batimetri,

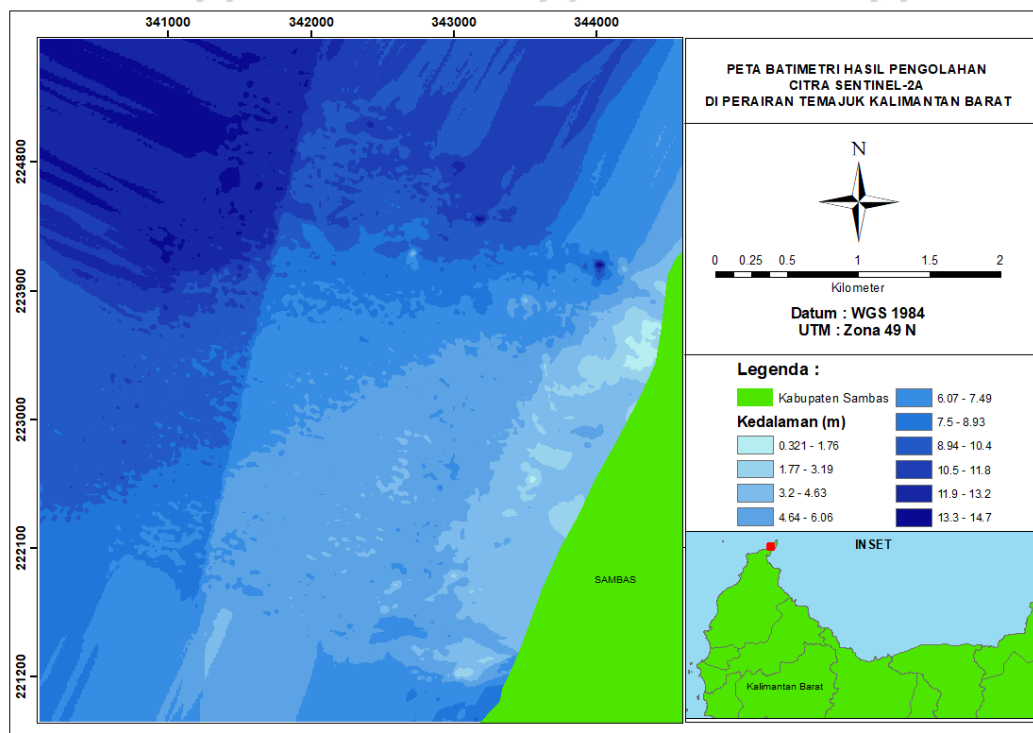


dengan memasukan XY (*Longitude* dan *Latitude*) dan Z (hasil kedalaman absolut citra) pada *software* ArcMap 10.3.

4.2.4 Peta Batimetri Hasil Pengolahan Data Citra Sentinel-2A

Data kedalaman perairan Temajuk hasil pengolahan Citra Sentinel-2A menggunakan algoritma Van Hengel dan Spitzer kemudian diolah menggunakan ArcMap 10.3 dengan memanfaatkan metode interpolasi *kriging* dengan *semivariogram model linear*. Hal tersebut dipilih mengingat karena pengambilan data yang sistematis dan menyebar serta kemampuan metode ini yang sangat fleksibel dalam mengolah berbagai tipe data (Fuad *et al.*, 2016). Metode *kriging* merupakan estimasi *stochastik* yang mirip dengan IDW, menggunakan kombinasi *linear* dari *weights* untuk memperkirakan nilai di antara sampel data. Metode ini dikembangkan oleh *D.L. Krige*. *Kriging* mengasumsikan data menyebar secara normal, dimana jarak dan orientasi antara sampel data menunjukkan korelasi spasial. Model ini memberikan ukuran *error* dan *confidence*. Model ini juga menggunakan semivariogram yang merepresentasikan perbedaan spasial dan nilai di antara semua pasangan sampel data (Hadi, 2013).

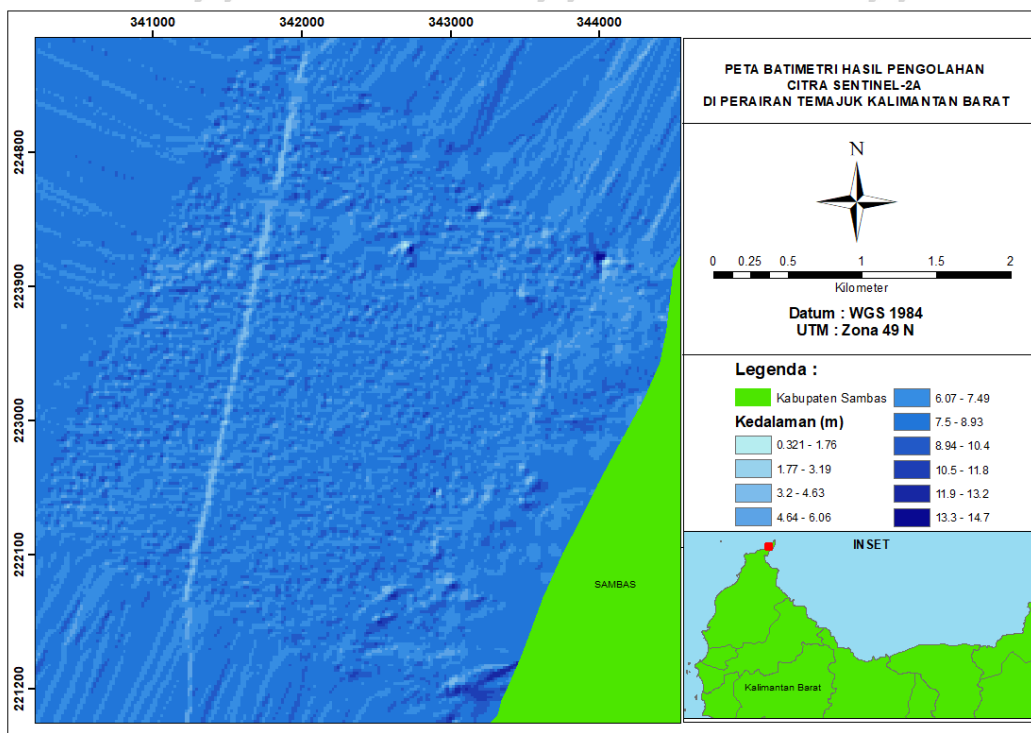
Hasil peta kontur kedalaman dapat dilihat pada (Gambar 11). Pada (Gambar 11) dapat dilihat jika semakin gelap warna biru maka semakin dalam perairan. Pada peta batimetri hasil pengolahan citra Sentinel-2A menggunakan Algoritma Van Hengel dan Spitzer memiliki kedalaman antara 0,39 m sampai dengan 14,97 m yang kemudian dikelompokkan kedalam kelas 10 kelas yaitu dari 0,321 m sampai dengan 14,7 m.



Gambar 11 Peta Batimetri 2D Hasil Pengolahan Citra Sentinel-2A

Pengolahan peta *shaded relief* kedalaman perairan Temajuk, Kalimantan Barat diolah menggunakan ArcMap 10.3 dengan memanfaatkan metode *Hillshade*. Metode *Hillshade* digunakan untuk mempresentasikan gambaran relief sebuah wilayah pada sebuah data raster yang masih dalam *format* 2D dengan cara memberikan kesan 3D pada data *raster* tersebut. Pemberian kesan 3D tersebut dapat dilakukan dengan cara pemberian teknik pencahayaan dan bayangan yang tepat pada sebuah data *raster*.

Pada (Gambar 12) dapat dilihat jika semakin jauh dari pantai maka kedalaman perairan semakin bertambah dengan ditandai warna biru tua dan juga sebaliknya. Pada daerah dekat pantai dapat dilihat jika kedalaman perairan relatif dangkal dengan kedalaman berkisar antara 0,321 m – 1,76 m dan yang terjauh dari garis pantai memiliki nilai kedalaman 13,3 m – 14,7 m. Hal ini menunjukkan kedalaman perairan akan bertambah seiring dengan bertambahnya jarak dari pantai.



Gambar 12 Peta Batimetri Shaded Relief Hasil Pengolahan Citra Sentinel-2A

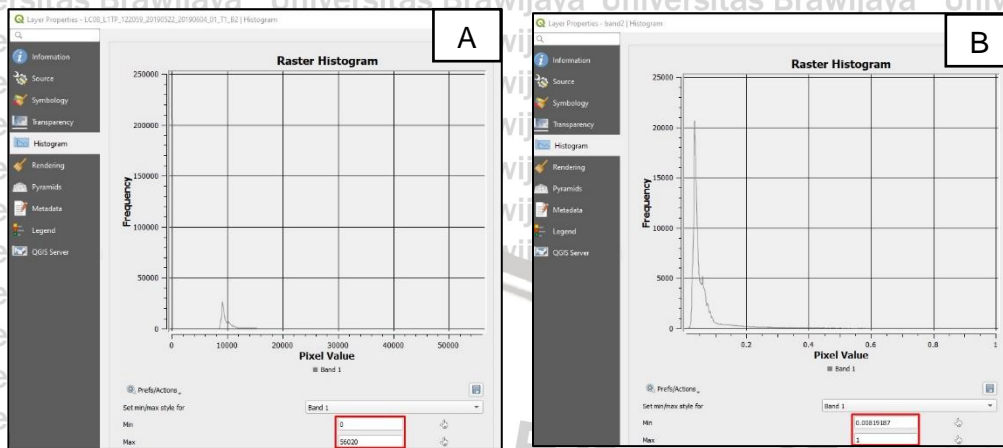
4.3 Hasil Pengolahan Data Citra Landsat 8

4.3.1 Koreksi Radiometrik

Koreksi radiometrik citra landsat 8 dilakukan pada *band 2* (biru), *band 3* (hijau), *band 4* (merah). Seluruh *band* yang digunakan memiliki resolusi sebesar 30 meter. Kalibrasi radiometrik diperlukan untuk merubah nilai *digital number* (DN) pada citra menjadi nilai reflektan (pantulan). Sedangkan koreksi atmosfer adalah proses menghilangkan pengaruh atmosfer pada data penginderaan jauh, yakni merubah data *Top of Atmosphere* (TOA) menjadi *Bottom of Atmosphere* (BOA). Hasil kalibrasi radiometrik dan koreksi atmosfer pada Citra Landsat 8 dan perbedaan angka *actual input limit band* sebelum dan sesudah koreksi radiometrik pada band 4,3,2 citra sentinel-2A dapat dilihat pada (Lampiran 3).

Pada (Gambar 13) terdapat angka *actual input limit band 2* sebelum dan sesudah dilakukan koreksi radiometrik. *Band 2* sebelum koreksi radiometrik memiliki angka *actual input limit* yang menunjukkan nilai minimum dan nilai

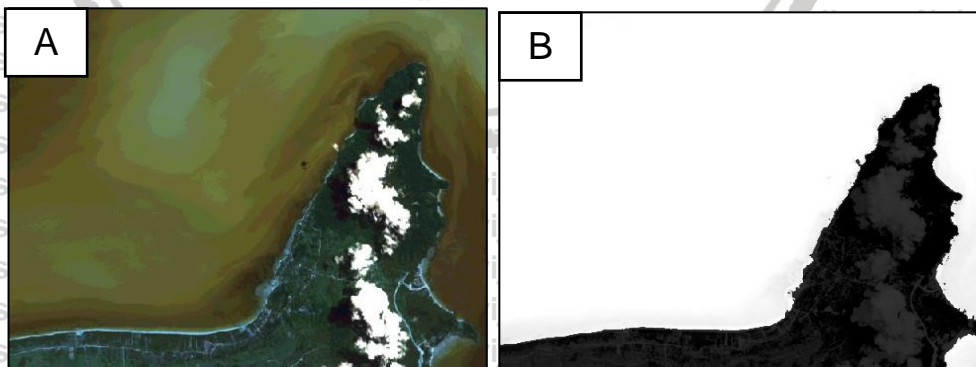
maksimum yaitu 0 - 56020. Setelah dilakukan koreksi radiometrik angka *actual input limit band 2* berubah menjadi 0.00819187 - 1.



Gambar 13 Citra Landsat 8 Sebelum (A) dan Sesudah (B) Koreksi Radiometrik

4.3.2 Pemisahan Air dan Darat Pada Citra

Penelitian ini difokuskan pada wilayah laut saja sehingga objek bukan laut harus dihilangkan. Pemisahan objek dilakukan dengan cara memberikan nilai nol untuk objek bukan laut. Citra hasil *masking* ini disimpan menjadi data raster yang digunakan pada pengolahan selanjutnya. Pada (Gambar 14) dapat dilihat bahwa citra sesudah dilakukan *masking* area daratannya diberi warna hitam yang mengartikan bahwa area tersebut adalah objek bukan laut. Berikut adalah tampilan citra landsat 8 sebelum dan sesudah dilakukan *masking*.



Gambar 14 Citra Landsat 8 sebelum (A) dan sesudah (B) dilakukan masking

4.3.3 Aplikasi Algoritma Van Hengel dan Spitzer

Band yang digunakan dalam algoritma Van Hengel dan Spitzer adalah *band* yang memiliki respon spektral terbaik untuk objek perairan yaitu *band* merah, hijau dan biru (Wahyuningrum *et al.*, 2008). Tahap pertama dalam pengolahan citra menggunakan algoritma Van Hengel dan Spitzer adalah menentukan nilai variabel r dan s . Variabel r dan s diasumsikan sebagai konstanta arah rotasi citra yang akan dianalisa. Hasil perhitungan konstanta r dan s dengan kombinasi *band* 432 pada Landsat 8 yang dihitung berdasarkan nilai varian dan kovarian *band* 432 dapat dilihat pada (Tabel 8).

Tabel 8 Hasil Perhitungan Variabel Kombinasi Band 432 Landsat 8

Variabel	Nilai
Varian Band 2	0,000218
Varian Band 3	0,000228
Varian Band 4	0,000253
Kovarian band 4 dan band 3	0,000059
Kovarian band 2 dan band 4	0,000058
r	1,450531
U_r	4,077003
U_s	4,082674
$\text{Cos } r$	0,119975
$\text{Sin } r$	0,992777
s	1,450692
$\text{Sin } s$	0,992796
$\text{Cos } s$	0,119816

Dari Tabel 8 dapat dilihat bahwa nilai konstanta r dan s pada citra Landsat 8 memiliki nilai 1,450531 dan 1,450692. Nilai dari konstanta r dan s menunjukkan arah rotasi citra yang nantinya akan digunakan dalam algoritma Van Hengel dan Spitzer. Setelah didapatkan konstanta r dan s kemudian dilakukan pengolahan citra menggunakan algoritma Van Hengel dan Spitzer. Rumus yang digunakan dalam perhitungan ini hanya Y_1 , karena Y_1 merupakan menunjukkan nilai

kedalaman relatif dan Y2 dan Y3 hanya merupakan hasil sampingan dari pengolahan dan belum diketahui informasi apa yang terkandung di dalam nilai pikselnya (Wahyuningrum *et al.*, 2008).

Untuk mengestimasi kedalaman air laut dari citra satelit tidak seluruhnya murni dari hasil pengolahan citra satelit, tetapi membutuhkan data kedalaman air laut yang sudah diketahui kedalamannya sebenarnya. Nilai digital Y1 hasil algoritma Van Hengel dan Splitzer yang menunjukkan kedalaman relatif dari citra diregresikan dengan nilai kedalaman insitu. Sumbu X sebagai kedalaman lapang dan sumbu Y sebagai data kedalaman air relatif. Persamaan regresi dengan algoritma Van Hengel dan Spitzer menjadi persamaan untuk menentukan kedalaman laut dapat dilihat pada Tabel 9 berikut.

Tabel 9 Persamaan regresi penentuan kedalaman absolut citra Landsat 8

Citra Satelit	Kombinasi Band	Persamaan regresi linear sederhana	Persamaan Untuk Kedalaman Absolut Citra
Landsat 8	432	$y = 0,0036x + 0,0115$	$Z = (0,0115 - KR) / 0.0036$

Keterangan= KR: Kedalaman relatif, Z: Kedalaman Absolut Citra

Untuk memudahkan pembacaan hasil estimasi kedalaman laut melalui citra, maka hasil pengolahan tersebut disajikan dalam bentuk peta batimetri, dengan memasukan XY (*Longitude* dan *Latitude*) dan Z (hasil kedalaman absolut citra) pada software ArcMap 10.3.

4.3.4 Peta Batimetri Hasil Pengolahan Landsat 8

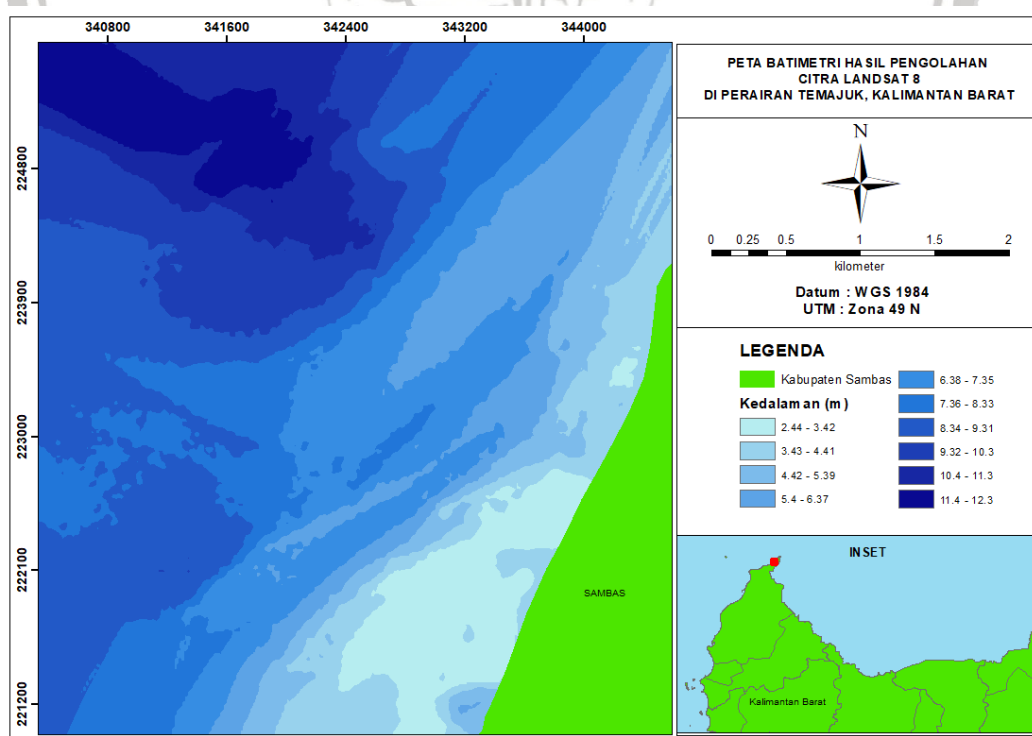
Data kedalaman perairan Temajuk hasil pengolahan Citra Landsat 8 menggunakan algoritma Van Hengel dan Spitzer kemudian diolah menggunakan ArcMap 10.3 dengan memanfaatkan metode interpolasi *kriging* dengan *semivariogram model linier*. Hal tersebut dipilih mengingat karena pengambilan data yang sistematis dan menyebar serta kemampuan metode ini yang sangat



fleksibel dalam mengolah berbagai tipe data (Fuad et al., 2016). Metode *kriging* merupakan estimasi *stochastik* yang mirip dengan IDW, menggunakan kombinasi *linear* dari *weights* untuk memperkirakan nilai di antara sampel data. Metode ini dikembangkan oleh *D.L. Krige*. *Kriging* mengasumsikan data menyebar secara normal, dimana jarak dan orientasi antara sampel data menunjukkan korelasi spasial. Model ini memberikan ukuran *error* dan *confidence*. Model ini juga menggunakan *semivariogram* yang merepresentasikan perbedaan spasial dan nilai di antara semua pasangan sampel data (Hadi, 2013).

Hasil peta kontur kedalaman dapat dilihat pada (Gambar 15). Pada gambar tersebut dapat dilihat jika semakin gelap warna biru maka semakin dalam perairan.

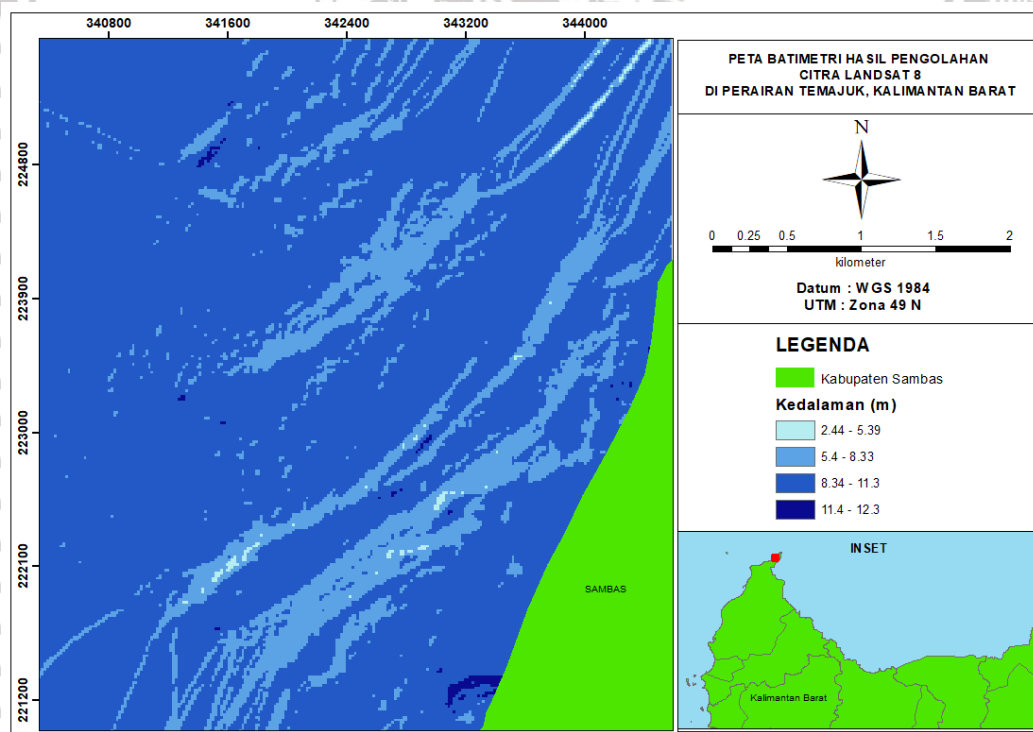
Pada peta batimetri hasil pengolahan citra Landsat 8 menggunakan Algoritma Van Hengel dan Spitzer memiliki kedalaman 2,43 m sampai dengan 12,33 m yang kemudian dikelompokkan kedalam 10 kelas yaitu dari 2,44 m sampai dengan 12,3 meter.



Gambar 15 Peta Batimetri 2D Hasil Pengolahan Citra Landsat 8

Pengolahan peta *shaded relief* kedalaman perairan Temajuk hasil pengolahan menggunakan Algoritma Van Hengel dan Spitzer diolah menggunakan ArcMap 10.3 dengan dengan memanfaatkan metode *Hillshade*. Metode *Hillshade* digunakan untuk mempresentasikan gambaran *relief* sebuah wilayah pada sebuah data *raster* yang masih dalam *format* 2D dengan cara memberikan kesan 3D pada data raster tersebut. Pemberian kesan 3D tersebut dapat dilakukan dengan cara pemberian teknik pencahayaan dan bayangan yang tepat pada sebuah data *raster*.

Pada (Gambar 16) dapat dilihat jika semakin jauh dari pantai maka kedalaman perairan semakin bertambah dengan ditandai warna biru tua. Pada daerah dekat pantai dapat dilihat jika kedalaman perairan relatif dangkal. Hal ini menunjukkan kedalaman perairan akan bertambah seiring dengan bertambahnya jarak dari pantai.



Gambar 16 Peta Batimetri Shaded Relief Hasil Pengolahan Citra Landsat 8

4.4 Galat (Error) dan Residual Kedalaman insitu dengan Kedalaman Hasil

Citra Satelit

Nilai kedalaman hasil pemeruman menggunakan *echosounder* maupun dengan menggunakan pengindraan jauh akan memiliki galat atau *error*.

Berdasarkan hasil perhitungan nilai galat antara kedalaman hasil pemeruman dan kedalaman absolut hasil pengolahan Citra Sentinel-2A menggunakan Algoritma Van Hengel dan Spitzer menghasilkan galat (*error*) atau NMAE (*normalized mean absolute error*) sebesar 27,22%, nilai NMAE ini mengindikasikan bahwa akurasi data estimasi kedalaman tersebut dapat diterima, sebab nilai NMAE ini masih dibawah syarat minimum NMAE 30% agar bisa digunakan untuk mengesttrak data kedalaman air menggunakan data pengindraan jauh (Jaelani *et al.*, 2015).

Sementara berdasarkan hasil perhitungan nilai galat (*error*) atau NMAE antara kedalaman sebenarnya dengan kedalaman absolut hasil pengolahan Citra Landsat 8 menggunakan Algoritma Van Hengel dan Spitzer menghasilkan nilai galat (*error*) atau NMAE sebesar 23,61%. Nilai NMAE ini masuk syarat minimum NMAE 30% yang dapat digunakan untuk mengesttrak data kedalamanan air menggunakan data pengindraan jauh (Jaelani *et al.*, 2015). Tabel perbandingan nilai galat (*error*) antara kedalaman sebenarnya dan kedalaman absolut citra menggunakan Algoritma Van Hengel dan Spitzer dapat dilihat pada (Tabel 10).

Tabel 10 Perbandingan Nilai galat (*error*)

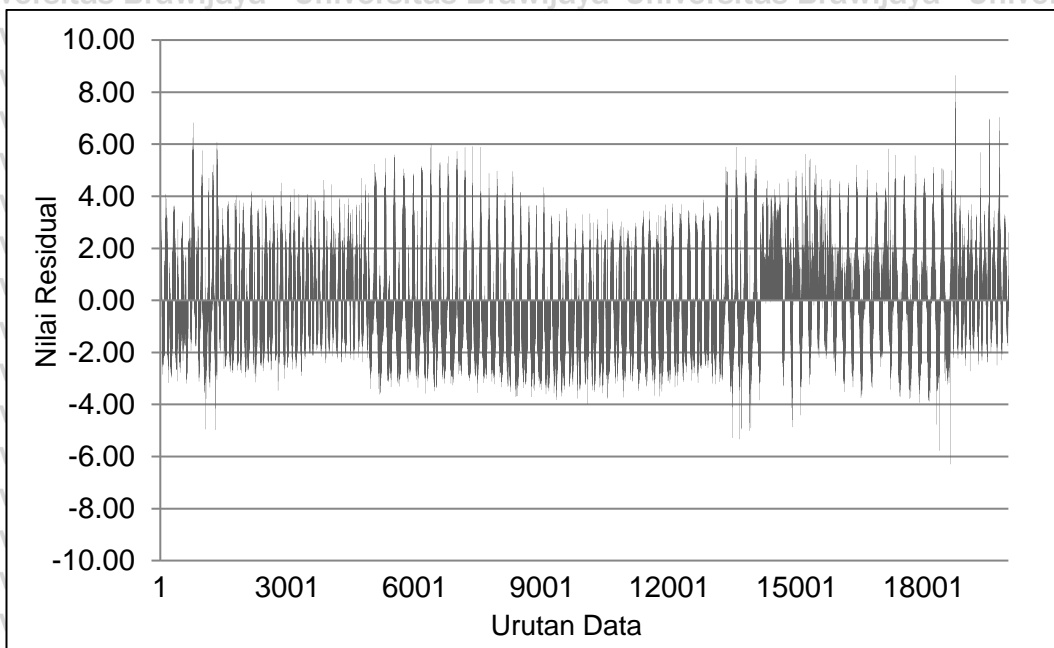
Variabel	Kedalaman Maksimum (meter)	Kedalaman Minimum (meter)	Galat (%)
Citra Sentinel-2A	14,97	0,39	27,22%
Citra Landsat 8	12,33	2,43	23,61%

Pada penelitian yang dilakukan sebelumnya oleh (Bobsaid dan Jaelani, 2017), tentang estimasi kedalaman perairan menggunakan algoritma Van Hengel



dan Spitzer dengan memanfaatkan citra Landsat 8 dan Sentinel-2A, menghasilkan nilai galat *error* dengan menggunakan rumus *NMAE* (*Normalized Mean Absolute Error*) sebesar 25,7% untuk citra Landsat 8. Sedangkan untuk nilai *error* pada citra Sentinel-2A mencapai 26,87%. Nilai *error* pada kedua data tersebut telah merepresentasikan data kedalaman yang didapat oleh citra dan juga pengukuran *insitu*. (Bobsaid dan Jaelani, 2017) juga menambahkan bahwa hasil *NMAE* mengindikasikan nilai akurasi data estimasi kedalaman dapat diterima untuk kedua sumber data tersebut namun memiliki nilai korelasi yang lemah antara hasil kedalaman absolut terhadap data kedalaman *insitu* sehingga perlu dikaji kembali kesesuaian algoritma tersebut. Sedangkan berdasarkan penelitian yang telah penulis lakukan menunjukkan bahwa hasil *NMAE* kedua citra tersebut dapat mengindikasikan nilai akurasi data estimasi kedalaman tersebut dapat diterima untuk kedua sumber data tersebut, dan kedua hasil citra menunjukkan korelasi yang cukup kuat antara hasil kedalaman absolut terhadap kedalaman *insitu*.

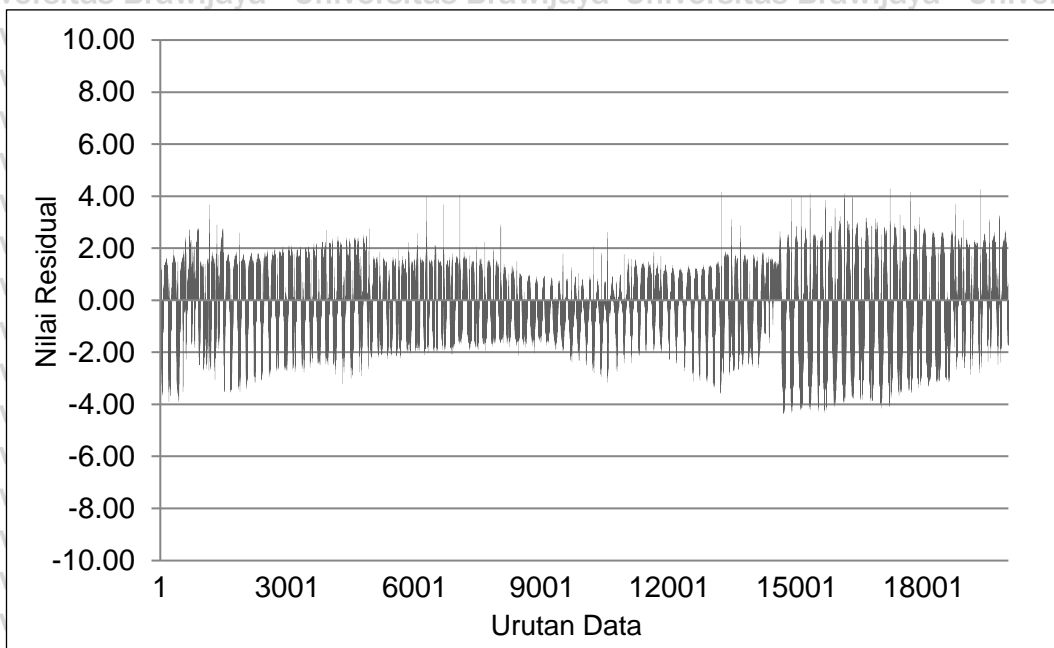
Grafik residual atau selisih antara nilai kedalaman sebenarnya dengan nilai kedalaman absolut yang dihasilkan dari pengolahan citra Sentinel-2A dan citra Landsat 8 dapat dilihat pada (Gambar 17) dan (Gambar 18). Pada grafik residual kedalaman *insitu* dengan citra satelit Sentinel-2A memiliki nilai residual berkisar antara -6,30 sampai dengan 8,65. Nilai residual -6,30 terletak pada kedalaman lapang 8,75 m, sedangkan nilai residual 8,65 terletak pada kedalaman 0,041 m. hal tersebut menunjukkan bahwa residual tertinggi disebabkan nilai piksel citra tersebut berada pada perairan yang cukup dalam dan sangat dangkal.



Gambar 17 Grafik Residual Kedalaman Hasil Pemeruman dan Sentinel-2A

Sementara pada grafik residual kedalaman insitu dan citra satelit Landsat 8 memiliki nilai residual antrara -4,36 sampai dengan 4,29, nilai residual 4,29 terletak pada kedalaman 0,15 m dan nilai residual -4,36 terletak pada kedalaman 8,79 m.

Hal tersebut menunjukkan bahwa residual tertinggi disebabkan nilai piksel citra tersebut berada pada perairan yang sangat dangkal dan perairan yang cukup dalam. Grafik residual kedalaman insitu dan citra satelit landsat 8 dapat dilihat pada (Gambar 35) berikut ini.



Gambar 18 Grafik Residual Kedalaman Lapang dan Citra Landsat 8

Residual yang bernilai negatif (*under exposure*) menandakan nilai kedalaman hasil pengolahan citra memiliki nilai yang lebih kecil jika dibandingkan nilai kedalaman sebenarnya. Residual yang bernilai positif (*over exposure*) menandakan jika nilai kedalaman hasil pengolahan citra memiliki nilai yang lebih besar jika dibandingkan nilai kedalaman sebenarnya. Semakin kecil nilai galat dan nilai residual maka nilai kedalaman absolut yang dihasilkan semakin mendekati nilai kedalaman sebenarnya. Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa nilai residual antara citra Sentinel-2A dan Landsat 8, menunjukkan bahwa Landsat 8 memiliki nilai kedalaman absolut yang lebih mendekati nilai kedalaman sebenarnya.

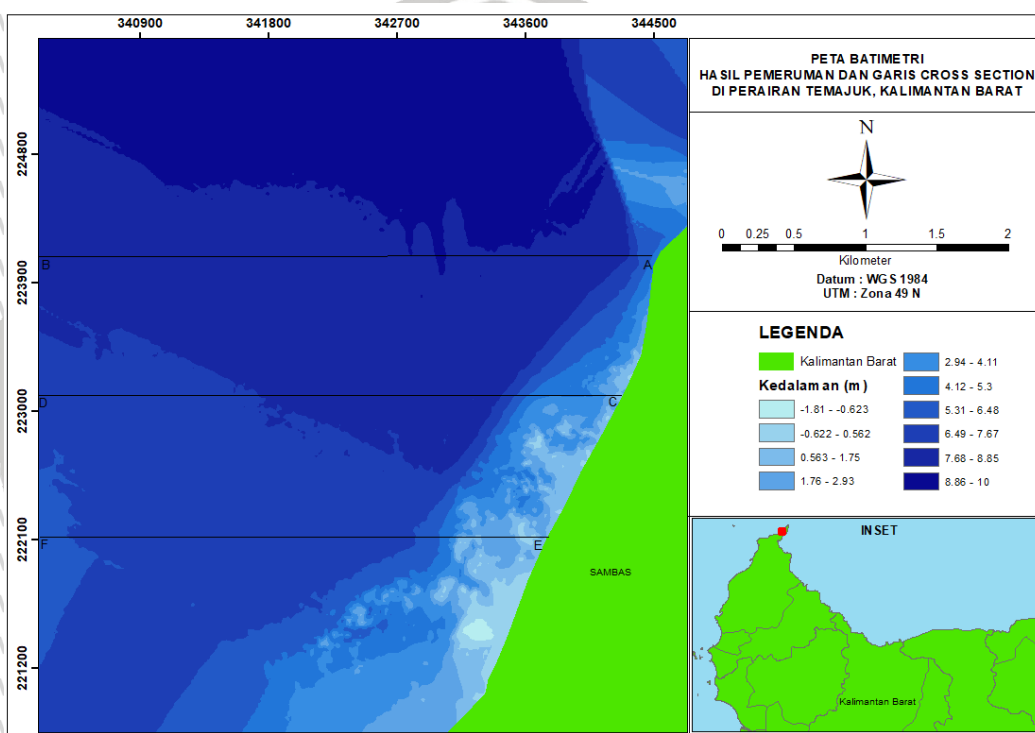
4.5 Perbandingan Data Citra dan Data Lapang

4.5.1 Cross Section Kedalaman (Insitu) Perairan Temajuk

Pengolahan *cross section* dilakukan untuk melihat sayatan melintang atau bentuk dasar perairan secara vertikal, untuk mendapatkan *cross section* dari perairan Temajuk menggunakan bantuan *tools 3D analyst* pada *software* ArcMap

10.3. Pada proses pembuatan *cross section* perairan Temajuk akan dibagi menjadi

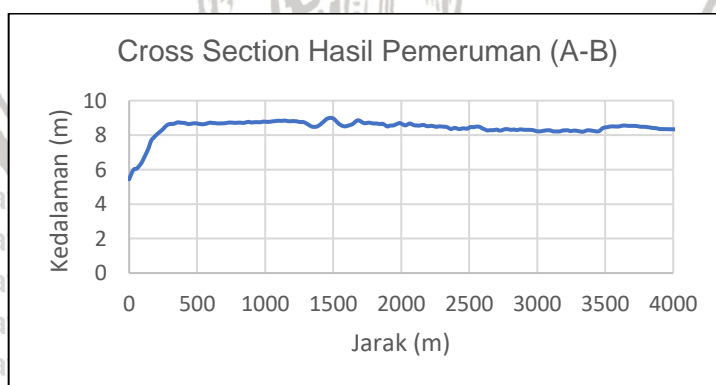
3 wilayah yang tegak lurus dengan pantai untuk melihat sayatan melintang atau bentuk dasar perairan secara vertikal. Pembagian 3 wilayah ini dilakukan agar wilayah penelitian dapat mewakili bentuk dasar perairan secara vertikal. Pada wilayah pertama akan ditandai dengan titik A-B, wilayah ke dua ditandai dengan titik C-D, dan wilayah ke tiga ditandai dengan titik E-F. Pembagian wilayah perairan Temajuk, Kalimantan Barat dapat dilihat pada (Gambar 19)



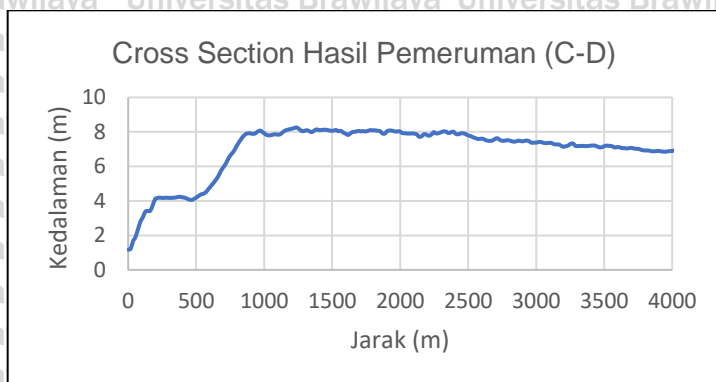
Gambar 19 Peta Garis Cross Section Perairan Temajuk Hasil Pemeruman

Hasil proses *cross section* yang telah dilakukan dapat dilihat pada Gambar 20, 21 dan 22. Pada (Gambar 21) merupakan hasil *cross section* pada titik A-B yang ditarik dari dekat pantai ke laut secara tegak lurus. Pada (Gambar 22) juga merupakan hasil *cross section* pada titik C-D yang ditarik dari dekat pantai ke laut secara tegak lurus. Kemudian berlaku juga pada (Gambar 23) yang mana merupakan hasil *cross section* pada titik E-F yang ditarik dari dekat pantai ke laut secara tegak lurus.

Pada titik A-B merupakan profil kedalaman dari jarak 0 sampai 4300 m dengan kedalaman perairan berkisar antara 5,43 m sampai 8,99 m. Pada jarak 0 m sampai 200 m memiliki profil yang landai dengan kedalaman antara 5,43 m sampai 7,99 m. Kemudian pada jarak 200 m sampai 4300 m profil perairan mengalami berada pada kisaran 8,11 m sampai 8,99 m. Pada titik C-D merupakan profil kedalaman dari jarak 0 m sampai 4100 m dengan kedalaman perairan berkisar 1,17 m sampai 8,25 m. Profil perairan pada titik ini cenderung dangkal pada jarak 0 sampai 600 meter dengan kedalaman berkisar 1,17 m sampai 4,88 m dan mengalami peningkatan kedalaman pada jarak 600 m sampai 4100 m dengan kisaran kedalaman antara 5,05 m sampai 8,25 m. Pada titik E-F merupakan profil kedalaman dari jarak 0 m sampai 3500 m dengan kedalaman perairan berkisar antara 0,27 m sampai dengan 7,16 m. Pada titik E-F cenderung dangkal pada jarak 0 m sampai 650 m, dimana kisaran kedalaman mencapai 0,27 m sampai 2,75 m, dan mengalami peningkatan kedalaman pada jarak 650 m sampai 3500 m, dengan kedalaman perairan berkisar 2,75 m sampai 7,16 m. Berikut merupakan gambaran garis *cross section* hasil pemeruman di Perairan Temajuk.



Gambar 20 Profil Kedalaman Hasil Pemeruman (Titik A-B)



Gambar 21 Profil Kedalaman Hasil Pemeruman (Titik C-D)

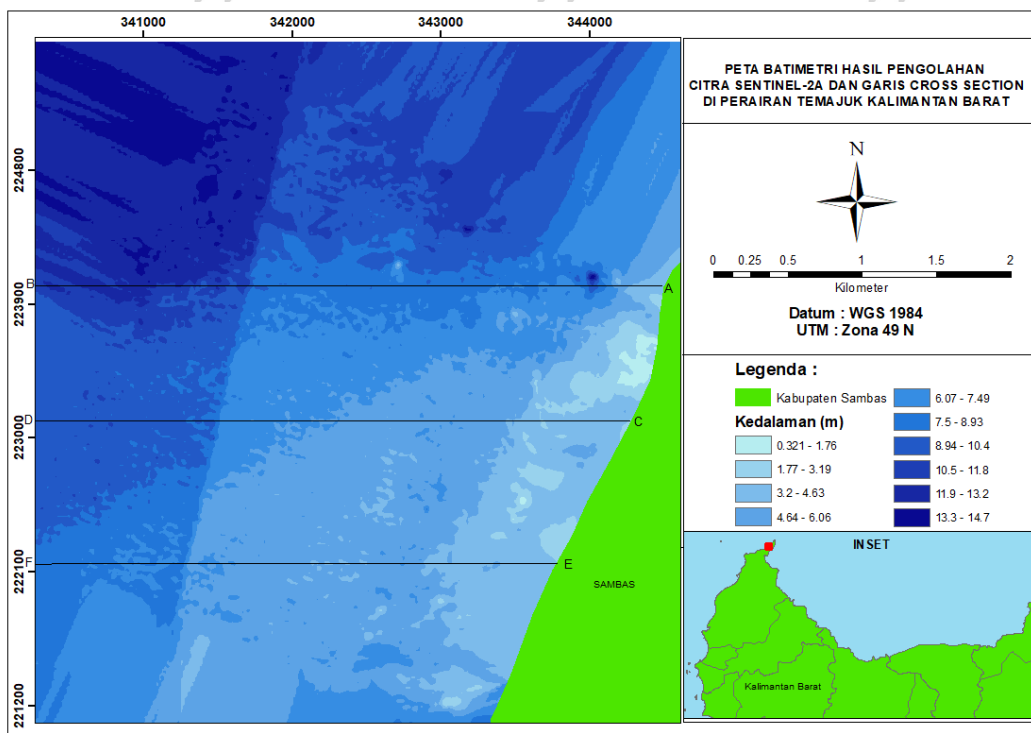


Gambar 22 Profil Kedalaman Hasil Pemeruman (Titik E-F)

4.5.2 Cross Section Kedalaman Perairan Temajuk Hasil Pengolahan Citra Sentinel-2A

Data kedalaman perairan Temajuk hasil pengolahan citra Sentinel-2A menggunakan Algoritma Van Hengel dan Spitzer kemudian dibuat *cross section* untuk melihat pematang melintang atau bentuk dasar perairan secara vertikal dengan bantuan *tools 3D analyst* pada *software ArcMap 10.3*. Perairan Temajuk dibagi menjadi 3 wilayah untuk melihat bentuk dasar perairan. Pembagian 3 wilayah ini dilakukan agar wilayah penelitian dapat terwakili bentuk dasar perairan secara vertikal. Pada wilayah pertama akan ditandai dengan titik A-B, wilayah ke dua ditandai dengan titik C-D dan wilayah ke tiga ditandai dengan titik E-F.

Pembagian wilayah *Cross Section* Hasil Pengolahan Citra Sentinel-2A perairan Temajuk dapat dilihat pada (Gambar 23).

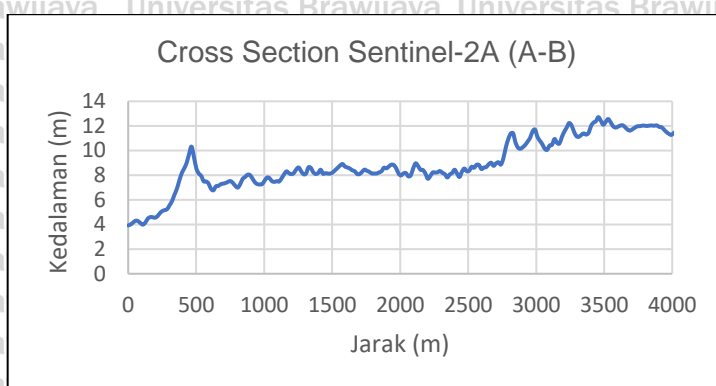


Gambar 23 Peta Garis Cross Section Hasil Citra Sentinel-2A

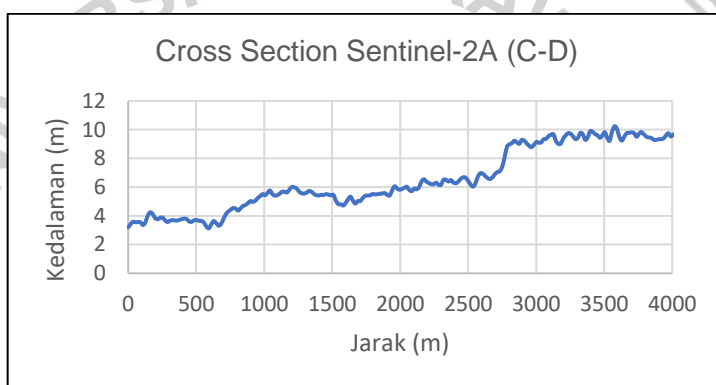
Hasil *cross section* dari citra Sentinel-2A dapat dilihat pada Gambar 24, 25, dan 26. (Gambar 24) merupakan hasil *cross section* pada titik A-B. (Gambar 25) merupakan hasil *cross section* pada titik C-D. (Gambar 26) merupakan hasil *cross section* pada titik E-F.

Pada titik A-B merupakan profil kedalaman dari jarak 0 sampai 4300 m dengan kedalaman berkisar antara 3,92 m sampai 12,71 m, pada titik ini kedalaman perairan cenderung fluktuatif seiring dengan bertambahnya jarak. Pada titik C-D merupakan profil kedalaman dari jarak 0 m sampai dengan 4100 m dengan kedalaman terendah 3,13 m dan kedalaman tertinggi 10,23 m, profil kedalaman pada titik ini memiliki pola perubahan kedalaman yang cukup fluktuatif seiring bertambahnya jarak dari garis pantai. Pada titik E-F merupakan profil kedalaman dari jarak 0 m sampai dengan 3500 m, dengan kedalaman terendah 3,40 m dan kedalaman tertinggi 8,38 m, pada titik ini kedalaman perairan cenderung fluktuatif seiring bertambahnya jarak dari garis pantai. Berikut

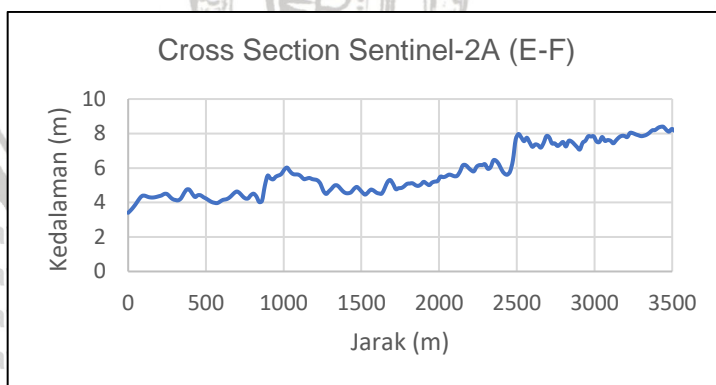
merupakan gambaran garis *cross section* hasil pengolahan citra Sentinel-2A di Perairan Temajuk.



Gambar 24 Profil Kedalaman Hasil Citra Sentinel-2A (Titik A-B)



Gambar 25 Profil Kedalaman Hasil Citra Sentinel-2A (Titik C-D)

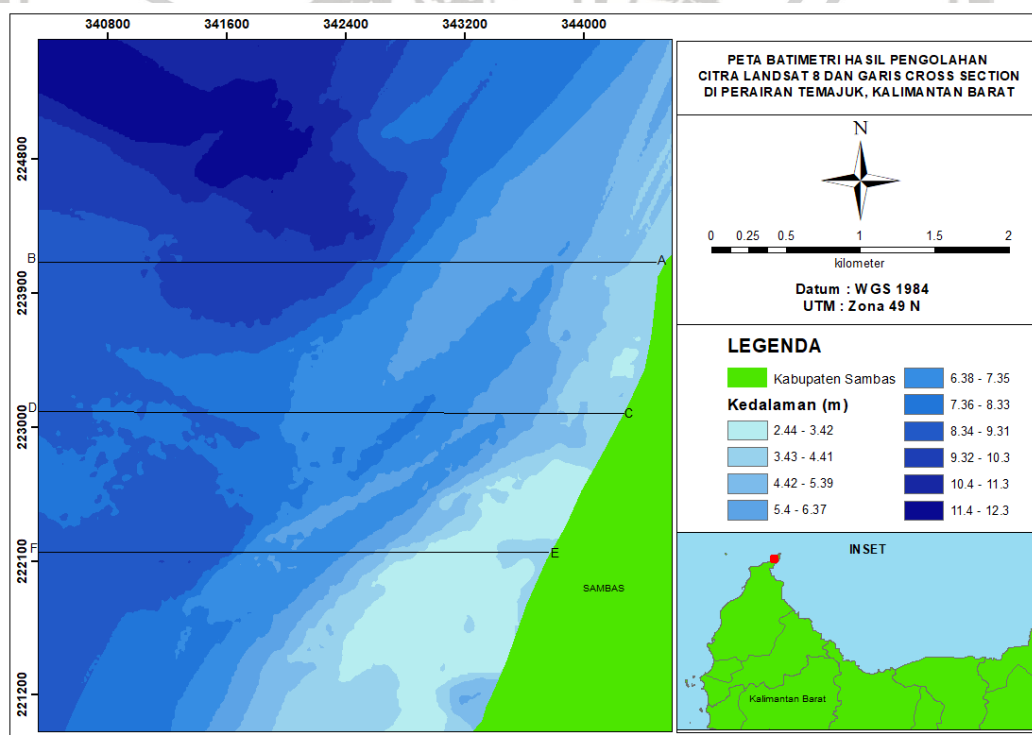


Gambar 26 Profil Kedalaman Hasil Citra Sentinel-2A (Titik E-F)

4.5.3 Cross Section Kedalaman Perairan Temajuk Hasil Pengolahan Citra

Landsat 8

Data kedalaman perairan Temajuk hasil pengolahan citra landsat 8 menggunakan Algoritma Van Hengel dan Spitzer kemudian dibuat *cross section* untuk melihat pematang melintang atau bentuk dasar perairan secara vertikal, untuk mendapatkan *cross section* dari perairan temajuk, dengan bantuan *tools 3D analyst* pada *software ArcMap 10.3*. Perairan Temajuk akan dibagi menjadi 3 wilayah untuk melihat bentuk dasar perairan. Pembagian 3 wilayah ini dilakukan agar wilayah penelitian dapat terwakili bentuk dasar perairan secara vertikal. Pada wilayah pertama akan ditandai dengan titik A dan B, wilayah ke dua ditandai dengan titik C dan D dan wilayah ke tiga ditandai dengan titik E dan F. Pembagian wilayah perairan Temajuk dapat dilihat pada (Gambar 27)



Gambar 27 Peta Garis Cross Section Hasil Citra Landsat 8

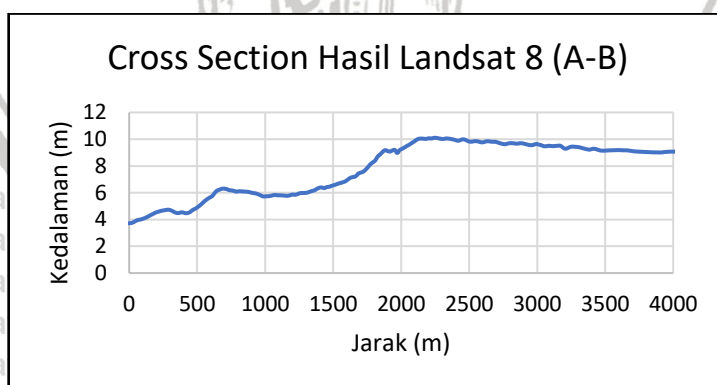
(Gambar 28) merupakan hasil *cross section* pada titik A ke B. (Gambar 29)

merupakan hasil *cross section* pada titik C ke D. (Gambar 30) merupakan hasil

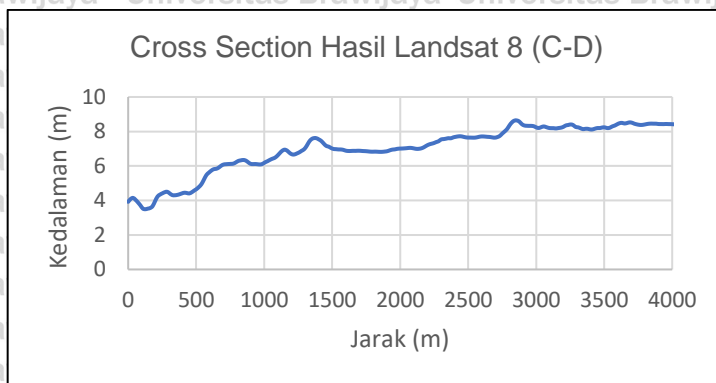
cross section pada titik E ke F. Pada titik A ke B merupakan profil kedalaman dari jarak 0 sampai 4300 dengan kedalaman berkisar antara 3,72 m sampai 10,10 m.

Pada jarak 0 sampai 500 m profil kedalaman mengalami cenderung fluktuatif dengan kedalaman 3,72 sampai 4,91 m dan mengalami peningkatan kedalaman pada jarak 500 sampai 4300 dengan kisaran kedalaman 5,05 m sampai 10,10 m.

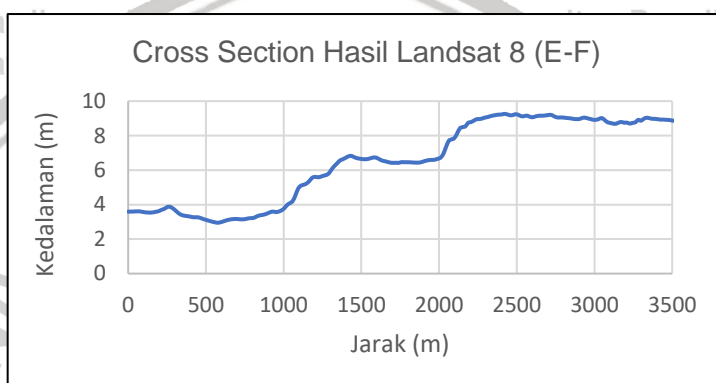
Pada titik C ke D merupakan profil kedalaman dari jarak 0 m sampai 4100 m dengan kedalaman antara 3,49 meter sampai 8,63 m. Profil kedalaman pada titik ini cenderung dangkal pada jarak 0 m sampai dengan jarak 540 m dengan kedalaman berkisar antara 3,49 sampai 4,94 m dan mengalami peningkatan kedalaman pada jarak 540 m sampai 4100 dengan kisaran kedalaman 5,21 m sampai 8,63 m. Pada titik E ke F merupakan profil kedalaman dari jarak 0 m sampai dengan 3500 m dengan kedalaman antara 2,94 m sampai 9,26 m. Pada jarak 0 m sampai 1000 m profil kedalaman perairan cenderung dangkal dengan rentang kedalaman 2,94 m sampai dengan 3,97 dan mengalami peningkatan kedalaman pada jarak 1000 m sampai dengan 3500 m dengan rentang kedalaman 4,08 m – 9,26 m. Berikut merupakan gambaran garis *cross section* hasil citra Landsat 8 di Perairan Temajuk.



Gambar 28 Profil Kedalaman Hasil Citra Landsat 8 (Titik A-B)



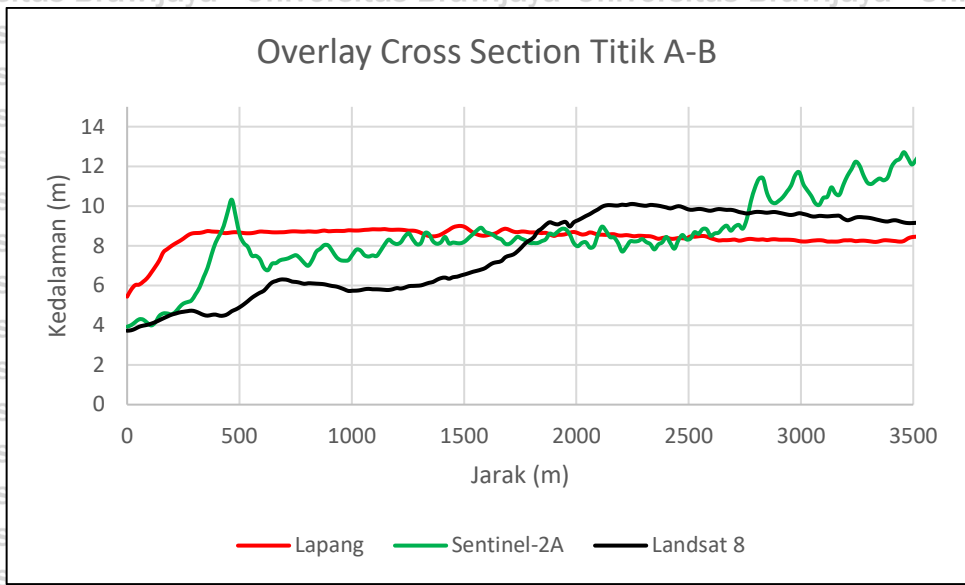
Gambar 29 Profil Kedalaman Hasil Citra Landsat 8 (Titik C-D)



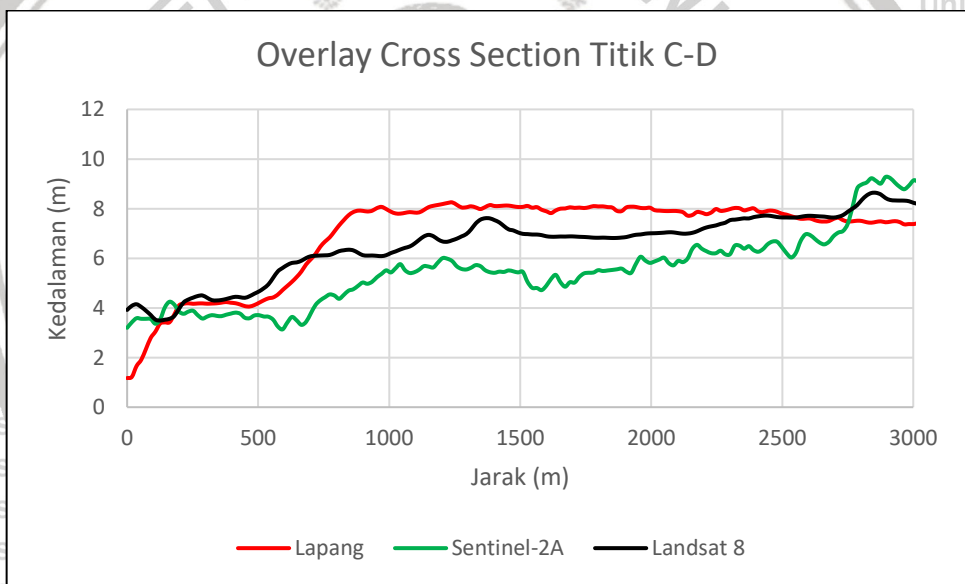
Gambar 30 Profil Kedalaman Hasil Citra Landsat 8 (Titik E-F)

4.5.4 Overlay Cross Section Kedalaman Insitu dan Citra Satelit

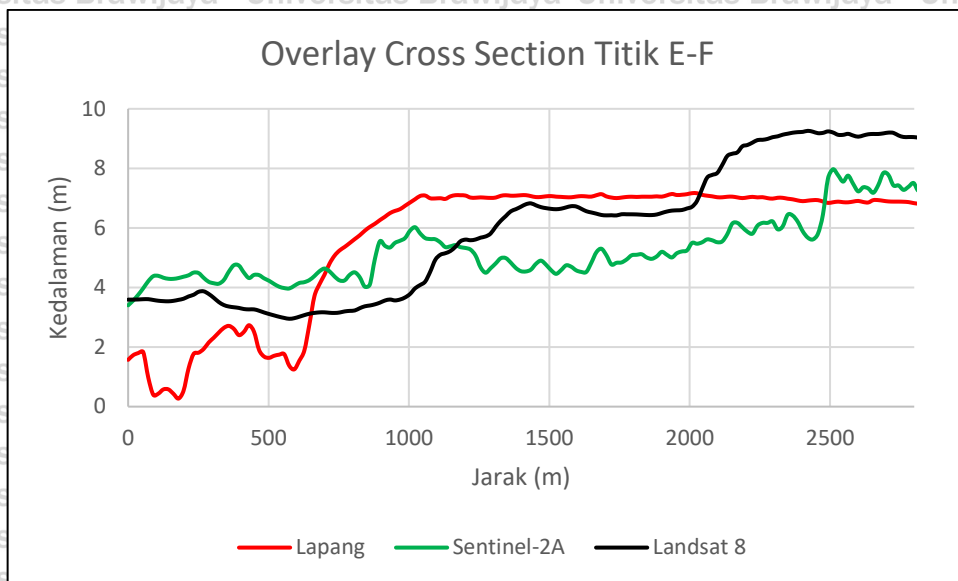
Hasil penggabungan (*overlay*) data seluruh *cross section* kedalaman insitu dan citra satelit titik A-B dapat dilihat pada (Gambar 31) dan (Gambar 32) merupakan *overlay cross section* titik C-D, serta (Gambar 33) merupakan *overlay cross section* titik E-F. Penggabungan (*overlay*) tersebut dilakukan dari semua profil kedalaman yang didapat dari data insitu, data citra Sentinel-2A dan data citra Landsat 8. Hal itu bertujuan untuk mengetahui perbedaan kedalaman antara insitu dan citra satelit. Dari semua hasil penggabungan data *cross section*, dapat disimpulkan bahwa data citra satelit landsat 8 mendekati hasil yang diperoleh kedalaman insitu, sebagaimana dapat terlihat jelas di masing-masing gambar *overlay cross section*. Berikut merupakan gambaran *overlay* hasil *cross section* dari masing-masing titik.



Gambar 31 Overlay Cross Section Titik A-B



Gambar 32 Overlay Cross Section Titik C-D



Gambar 33 Overlay Cross Section Titik E-F

4.7 Uji Akurasi

Uji akurasi nilai kedalaman hasil citra satelit sentinel-2A dan Landsat 8 dapat dilakukan dengan evaluasi prediksi kedalaman dengan menggunakan rumus R^2 dan RMSE (*Root Mean Square Error*). Metode untuk mendapatkan nilai R^2 adalah dengan persamaan regresi, salah satunya adalah metode regresi linier sederhana, dimana jika nilai R^2 mendekati angka 1 maka data yang cukup beragam dapat tertangani dengan baik dalam model regresi linier yang dibentuk.

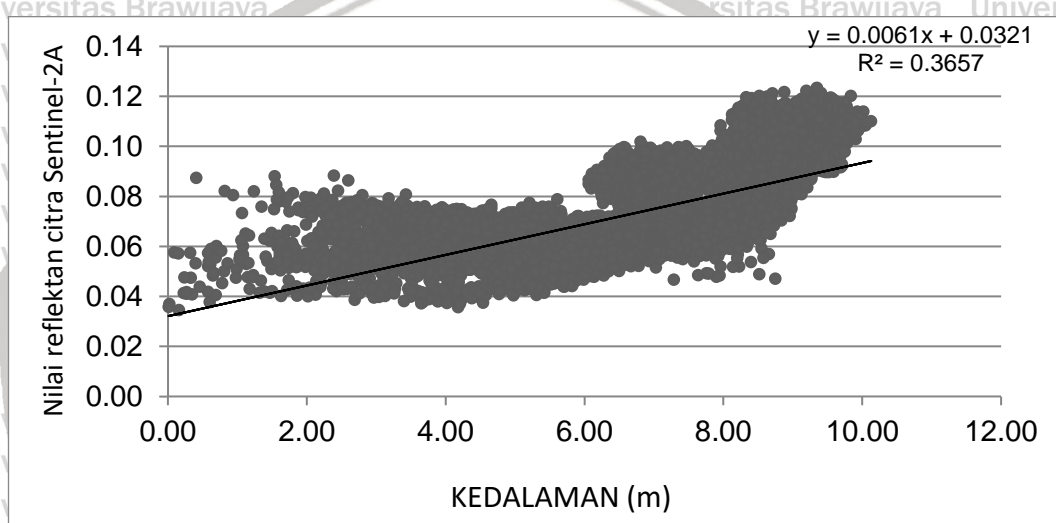
Pengolahan data citra Sentinel-2A dan Landsat 8 dengan algoritma Van Hengel dan Spitzer hanya digunakan untuk menentukan kedalaman air relatif.

Untuk mengestimasi nilai variabel kedalaman absolut dari citra, perlu dilakukan analisis regresi linier sederhana, sederhana yang dimaksud disini adalah didalam analisis hanya melibatkan dua buah variabel, yang satu merupakan variabel yang mempengaruhi (*independent variable*) dan variabel yang lain merupakan variabel yang dipengaruhi (*dependent variable*). Sedangkan maksud dari linear adalah asumsi yang digunakan bahwa hubungan antara dua variabel yang dianalisis menunjukkan hubungan linear (Nuryadi *et al.*, 2017). Kedalaman hasil pemeruman

merupakan variabel X dan variabel Y sebagai data kedalaman air relatif (Y1).

Proses regresi ini dilakukan untuk menghasilkan persamaan regresi yang baik yang dapat digunakan untuk meramalkan nilai variabel dependen yaitu nilai kedalaman sebenarnya dari proses pengolahan citra.

Grafik persamaan regresi linier sederhana antara kedalaman sebenarnya dengan nilai kedalaman air relatif hasil citra Sentinel-2A dapat dilihat pada (Gambar 34).



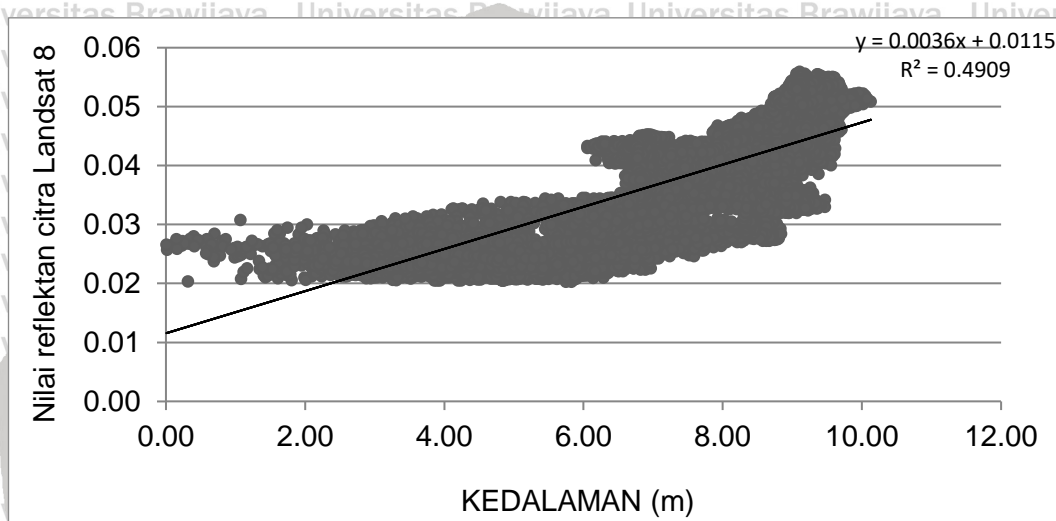
Gambar 34 Hasil Regresi Nilai Kedalaman dengan Citra Sentinel-2A

Persamaan regresi linier sederhana antara nilai kedalaman hasil pemeruman dengan nilai kedalaman relatif hasil citra sentinel-2A menghasilkan persamaan regresi $y = 0.0061x + 0.0321$. Hasil regresi tersebut memiliki nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,3657 atau 36%. Artinya model regresi yang dihasilkan hanya mampu menerangkan keragaman nilai variabel dependen Y1 sebesar 36%. Nilai koefisien korelasi (r) yang dihasilkan adalah sebesar 0.6047.

Semakin tinggi nilai koefisien korelasi antara dua buah variabel (nilainya semakin mendekati 1), maka tingkat keeratan hubungan antara dua variabel tersebut semakin tinggi; dengan demikian keeratan hubungan antara variabel kedalaman hasil pemeruman dan variabel nilai kedalaman relatif hasil citra sentinel-2A cukup

kuat. Tanda plus (+) pada nilai koefisien korelasi (r) menunjukkan hubungan yang searah (apabila nilai variabel yang satu naik, maka nilai variabel yang lain juga ikut naik) (Nuryadi *et al.*, 2017).

Untuk grafik persamaan regresi linier sederhana antara kedalaman sebenarnya dengan nilai kedalaman air relatif citra Landsat 8 dapat dilihat pada (Gambar 35).



Gambar 35 Hasil Regresi Nilai Kedalaman dengan Citra Landsat 8

Persamaan regresi linier sederhana antara nilai kedalaman hasil pemeruman dengan nilai kedalaman relatif hasil citra Landsat 8 menghasilkan persamaan $y = 0.0036x + 0.0115$. Hasil regresi tersebut memiliki nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0.4909 atau 49%. Artinya model regresi yang dihasilkan mampu menerangkan keragaman nilai perubah variabel dependen Y1 sebesar 53%. Nilai koefisien korelasi (r) yang dihasilkan adalah sebesar 0.7006. Semakin tinggi nilai koefisien korelasi antara dua buah variabel (nilainya semakin mendekati 1), maka tingkat keeratan hubungan antara dua variabel tersebut semakin tinggi, dengan demikian keeratan hubungan antara variabel kedalaman hasil pemeruman dan variabel nilai kedalaman relatif hasil Landsat 8 sangat kuat. Tanda plus (+) pada nilai koefisien korelasi (r) menunjukkan hubungan yang searah (apabila nilai

variabel yang satu naik, maka nilai variabel yang lain juga ikut naik) (Nuryadi *et al.*, 2017).

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Bobsaid dan Jaelani, 2017), menghasilkan nilai koefisien determinasi (R^2) tertinggi yaitu 0,102 dihasilkan dari pengolahan citra landsat 8, Artinya bahwa model yang dihasilkan mampu menerangkan keragaman variabel dependen sebesar 10%. Sedangkan koefisien determinasi (R^2) yang didapatkan dari pengolahan citra sentinel-2A sebesar 0.008, artinya bahwa model yang dihasilkan mampu menerangkan keragaman variabel dependen sebesar 8%. Tabel perbandingan hasil penelitian yang penulis lakukan dengan penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya dapat dilihat pada (Tabel 11) berikut ini.

Tabel 11 Perbandingan Hasil Regresi Dengan Penelitian Sebelumnya

Penelitian	Citra Satelit	Jenis Regresi	R^2	Korelasi
Hasil Penelitian	Sentinel-2A	Linier Sederhana	0.365	0.604
Jaelani, 2017	Sentinel-2A	Polynomial Orde 2	0.008	-
Jaelani, 2017	Landsat 8	Polynomial Orde 2	0.102	-
Hasil Penelitian	Landsat 8	Linier Sederhana	0.490	0.700

Keterangan: (-) *Tidak disebutkan dalam jurnal*

Menurut (Bobsaid dan Jaelani, 2017), citra Landsat 8 memiliki rentang estimasi kedalaman absolut yang lebih baik dibandingkan dengan hasil yang dapat dari citra Sentinel-2A.

Untuk RMSE (Root Mean Square Error) hasil kedalaman sebenarnya dan kedalaman absolut citra Sentinel-2A menggunakan Algoritma Van Hengel dan Spitzer memiliki nilai 2,0476 meter. Untuk nilai RMSE hasil kedalaman sebenarnya



dan kedalaman absolut citra Landsat 8 menggunakan Algoritma Van Hengel dan Spitzer memiliki nilai lebih baik dari sentinel-2A yakni 1.5662 m.

Tabel perbandingan nilai koefisien determinasi (R^2) dan koefisien korelasi (r), serta hasil RMSE (*Root Mean Square Error*) dapat dilihat pada (Tabel 12).

Tabel 12. Perbandingan nilai koefisien determinasi dan nilai RMSE

Citra Satelit	Koefisien Determinasi (R^2)	Koefisien Korelasi (r)	RMSE (meter)
Sentinel-2A	0,3657	0,6047	2,0476
Landsat 8	0,4909	0,7006	1,5662

4.8 Faktor Penting Dalam Estimasi Kedalaman Perairan

Faktor penting dalam mengestimasi kedalaman perairan adalah nilai reflektan citra. Pada citra Landsat 8 memiliki nilai reflektan lebih besar dibandingkan dengan citra Sentinel-2A karena dalam mengestimasi kedalaman menggunakan citra satelit membutuhkan nilai reflektan perairan pada citra satelit. Hal tersebut sejalan dengan penelitian yang penulis lakukan, dimana pada band 2 citra Sentinel-2A memiliki nilai reflektan rata-rata 0,066 atau lebih kecil dari citra Landsat 8 yang memiliki nilai reflektan 0,069. Tabel perbandingan nilai reflektan rata-rata dari kombinasi band 432 pada citra Sentinel-2A dan Landsat 8 dapat dilihat pada (Tabel 13) berikut ini.

Tabel 13. Perbandingan Nilai Reflektan rata-rata masing-masing citra

Jenis Citra	Band 2	Band 3	Band 4
Landsat 8	0,069	0,073	0,034
Sentinel-2A	0,066	0,071	0,051

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Perbedaan kedalaman yang dihasilkan dari estimasi kedalaman perairan menggunakan citra satelit Sentinel-2A dan Landsat 8 terhadap kedalaman insitu cukup signifikan, dimana nilai residual yang dihasilkan dari Landsat 8 memiliki nilai lebih baik dibandingkan Sentinel-2A, yakni Landsat 8 memiliki nilai residual -4.36 sampai 4.29 sedangkan Sentinel-2A memiliki nilai residual -6.30 sampai 8.65. Hal tersebut mengindikasikan bahwa citra satelit Landsat 8 memiliki nilai kedalaman yang semakin mendekati dengan kedalaman insitu.
2. Hasil analisis topografi kedalaman antara citra satelit dalam mengestimasi perairan dangkal di Perairan Temajuk, menunjukkan bahwa data dari citra satelit landsat 8 mendekati hasil yang diperoleh data kedalaman insitu, sebagaimana dapat terlihat jelas di masing-masing gambar *overlay cross section*. Kedalaman insitu perairan Temajuk memiliki rentang 0.01 m sampai 10.13 m. Pada citra Sentinel-2A memiliki rentang kedalaman 0.39 m sampai 14,97 m. Pada citra Landsat 8 memiliki profil kedalaman yang lebih mendekati dengan kedalaman hasil pengukuran insitu, yakni 2.43 m -12.33 m.
3. Dalam hal ketelitian batimetri perairan antara Citra Sentinel-2A dan Landsat 8 terhadap kedalaman insitu, menunjukkan bahwa landsat 8 memiliki ketelitian yang lebih baik, dimana koefisien determinasi, koefisien korelasi, galat (*error*) dan RMSE yang lebih baik dibandingkan Sentinel-2A. Dimana Landsat 8 memiliki nilai koefisien determinasi (R^2) 0.4909 dan koefisien korelasi (r) 0.7006 dengan nilai galat 23.61% dan RMSE 1.5662 meter. Nilai tersebut Lebih baik dengan sentinel-2A yang memiliki nilai koefisien determinasi (R^2) 0.3657 dan koefisien korelasi (r) 0.6047 dengan nilai galat 27.22% dan RMSE 2.0476

meter. Hal tersebut didasarkan karena nilai reflektan dari citra Landsat 8 yang lebih besar dibandingkan dengan nilai reflektan dari citra Sentinel-2A. Nilai reflektan berperan penting dalam mengestimasi kedalaman perairan dengan citra satelit.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian berikutnya adalah perlu adanya kajian lebih lanjut mengenai algoritma yang lain untuk mengestimasi kedalaman di perairan Temajuk dengan citra Sentinel-2A dan Landsat 8, agar mendapatkan nilai residual dan galat yang lebih kecil.



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

DAFTAR PUSTAKA

- Arief, M. 2012. Pendekatan Baru Pemetaan Bathimetric Menggunakan Data Penginderaan Jauh Spot Studi Kasus: Teluk Perigi dan Teluk Popoh. *J. Teknologi Digantara*. 10(10): 71-80.
- Arief, M., Asriningrum, W., Prawati, E. 2013. Pengembangan Metode Pendugaan Kedalaman Perairan Dangkal Menggunakan Data Satelit SPOT 4. *J. Penginderaan Jauh*. 10(1): 1-14.
- Bobsaid, M. W., Jaelani L.M. 2017. Studi Pemetaan Batimetri Perairan Dangkal Menggunakan Citra Satelit Landsat 8 dan Sentinel-2A. *J. Teknik ITS*. 6(2): 564-569.
- ESA. 2012. *ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operation Service*. Esa Communication.
- Fadilah, S. R., Manessa M. D. M., Atnawidjaja R.R. 2018. *Ekstraksi Data Kedalaman Menggunakan Data Citra Landsat-8*. *J. Teknik Geodesi UNPAK*. 1(1): 1-11.
- Fadilah., Suprin., Sasongko, D.P. 2014. Menentukan Tipe Pasang Surut dan Muka Air Rencana Perairan Laut Kabupaten Bengkulu Tengah Menggunakan Metode Admiralty. *J. Maspari*. 6(1): 1-12.
- Febrianto, T., Hestirianoto, T., Agus, S.B. 2015. Pemetaan Batimetri Di Perairan Dangkal Pulau Tunda, Serang, Banten Menggunakan Singlebeam Echosounder. *J. Teknologi Perikanan dan Kelautan*. 6(2): 139-147.
- Fuad, M.A.Z., Sambah, A.B., Isdianto, A., Andira, A. 2016. Pemetaan batimetri sebagai informasi dasar untuk penempatan fish apartment di Perairan Bangsring, Kabupaten Banyuwangi, Jawa Timur. *J. Depik*. 5(3): 143-150.
- Gao, J. 2009, "Bathymetric Mapping by Means of Remote Sensing: Methods, Accuracy and Limitations". *J. Physical Geography*. 33: 103-116.
- Hadi, B.S. 2013. Metode Interpolasi Spasial Dalam Studi Geografi (Ulasan Singkat dan Contoh Aplikasinya). *J. Geomedia*. 11(2).
- Handayani, D., Soelistijadi. R., dan Sunardi. 2005. Pemanfaatan Analisis Spasial Untuk Pengolahan Data Spasial Sistem Informasi Geografi. *J. Teknologi Informasi Dinamik*. 10(2): 108-116
- Harianto, K., Takwir, A., dan Halili. (2019). Pemetaan Batimetri Perairan Dangkal Menggunakan Algoritma Jupp Pada Citra Spot-7 Di Perairan Tanjung Tiram. *J. Sapa Laut*. 4(1): 1-12.
- Hartono. 2010. Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografi Serta Aplikasinya di Bidang Pendidikan dan Pembangunan. *Seminar Nasional-PJ dan SIG I Tahun 2010*.
- Irwanto, D. (2018). Perkiraan batimetri perairan dangkal menggunakan citra landsat 8. *J.I Seminar Nasional Kelautan dan Perikanan IV*.

Jaelani, L. M., Matsushita, B., Setiawan, F. 2015. Uji Akurasi Produk Reflektan-Permukaan Landsat Menggunakan Data In situ di Danau Kasumigaura, Jepang. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan Masyarakat Ahli Penginderaan Jauh Indonesia (MAPIN) XX*.

Lukiawan, R., Purwanto, E.H., dan Ayundyahrini, M. 2019. Standar Koreksi Geometrik Citra Satelit Resolusi Menengah dan Manfaat Bagi Pengguna. *J. Standarisasi*. 5(1): 45-54

Nurwauziyah, I., Sukojo, B.M., dan Hidayat, H. 2016. Analisis Ketelitian Geometric Citra Pleiades 1B untuk Pembuatan Peta Desa (Studi Kasus: Kelurahan Wonorejo, Surabaya). *J. Teknik ITS*. 5(2): 421-426.

Nuryadi., Astuti, T. D., Utami, E. S., Budiantara, M. 2017. Dasar-Dasar Statistik Penelitian. Sibuku Media: Yogyakarta.

Pajrin, P. 2018. *Algoritma Zona Penetrasi Kedalaman Untuk Pemetaan Batimetri Perairan Dangkal Menggunakan Citra Satelit Sentinel-2A*. Abstracts. Departemen Kelautan. Universitas Hasanuddin Makassar

Pambuko, D. M., Jondri., Umbara, R. F. 2015. Identifikasi Kedalaman Laut (Bathymetry) berdasarkan Warna Permukaan Laut pada Citra Satelit menggunakan Metode ANFIS. *JMI*. 9(2): 167-178.

Rahayau, R., dan Candra, D.S. 2014. Koreksi Radiometrik Citra Landsat-8 Kanal Multispektral menggunakan Top of Atmosphere (TOA). *Prosiding Seminar Nasional Penginderaan Jauh 2014*. Depok

Rinaldy, Y., Nugraha, A.L., Subiyanto, S. 2014. Analisis Pengukuran Batimetri dan Pasang Surut Untuk Menentukan Kedalaman Kolam Pelabuhan (Studi Kasus: Pelabuhan Tanjung Perak, Surabaya). *J. Geodesi Undip*. 3(4): 25-36.

Setiawan, K.T., Osawa, T., Nuarsa, L. W. 2014. Aplikasi algoritma Van Hengel dan Spitzer untuk ekstraksi informasi batimetri menggunakan data landsat. Seminar Nasional Penginderaan Jauh, Lapan.

Ulfa, K., Handayani., Muschsi, F., Chandra, D.S., Pradono, K.A., Fibriawati, L., Oktavia, M. I., Damanik, K.W.V. 2019. Analisis Pola Spektral Citra Sentinel-2. *J. Berita Dirgantara*. 20(2): 38-43.

Wahyuningrum, P.I., Jaya, I., Simbolon, D. 2008. Algoritma untuk Estimasi Kedalaman Perairan Dangkal Menggunakan Data Landsat-7 ETM+. *Bul. PSP* 17.

Wijonarko, W. W., Sasmito, B., Nugraha, A.L. (2016). *Kajian Pemodelan Dasar Laut Menggunakan Side Scan Sonar dan Singlebeam Echosounder*. *J. Geodesi UNDIP*. 5(2), 168-178.

Yanuar, R. C., Hanintyo, R., Muzaki, A.A. 2017. Penentuan Jenis Citra Satelit Dalam Interpretasi Luasan Ekosistem Lamun Menggunakan Pengolahan Algoritma Cahaya Tampak Studi Kasus: Wilayah Pesisir Sanur. *J. Geomatika*. 23(2).

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Surutan Hasil Pengamatan Lapang

JAM	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
TGL																		
1	1	1.36	1.49	1.76	2.14	2.56	2.91	3.06	3.03	2.82	2.47	2.10	1.76	1.55	1.50	1.66	1.98	2.33
2	1.58	1.35	1.31	1.46	1.88	2.35	2.77	3.07	3.16	3.00	2.70	2.28	1.85	1.46	1.26	1.25	1.62	2.03
3	1.86	1.51	1.30	1.34	1.63	2.11	2.60	2.98	3.23	3.21	2.91	2.45	1.91	1.46	1.17	1.06	1.25	1.68
4	2.21	1.75	1.42	1.28	1.45	1.88	2.37	2.81	3.13	3.24	3.05	2.61	2.11	1.53	-	-	-	-
5	2.59	2.07	1.64	1.35	1.35	1.68	2.17	2.67	3.04	3.26	3.19	2.86	2.34	1.76	1.22	0.84	0.64	0.82
6	2.93	2.47	1.93	1.56	1.35	1.45	1.90	2.36	2.81	3.13	3.20	2.99	2.56	2.02	1.41	0.92	0.56	0.55
7	3.25	2.83	2.38	1.93	1.59	1.48	1.71	2.17	2.65	3.00	3.19	3.16	2.84	2.33	1.73	1.14	0.72	0.50
8	3.44	3.21	2.79	2.34	1.94	1.63	1.65	1.92	2.37	2.81	3.13	3.25	3.06	2.67	2.14	1.53	0.97	0.62
9	3.36	3.37	3.09	2.72	2.32	1.95	1.81	1.88	2.13	2.51	2.85	3.06	3.07	2.84	2.48	-	-	-
10	3.03	3.25	3.18	2.93	2.57	2.27	2.02	1.94	2.05	2.32	2.63	2.88	3.03	2.99	2.76	2.36	1.85	1.38
11	2.54	3.03	3.23	3.19	2.98	2.70	2.41	2.18	2.04	2.14	2.35	2.62	2.84	2.90	2.87	2.66	2.33	1.90
12	2.04	2.55	2.96	3.19	3.22	3.04	2.80	2.50	2.21	2.04	2.06	2.22	2.45	2.66	2.81	2.85	2.68	2.39
13	1.55	2.02	2.51	2.93	3.19	3.24	3.09	2.82	2.51	2.21	1.99	1.91	2.05	2.28	2.55	-	-	-
14	1.23	1.60	2.08	2.57	2.99	3.28	3.30	3.04	2.74	2.38	2.01	1.73	1.60	1.78	2.10	2.41	2.71	2.86
15	1.15	1.23	1.62	2.16	2.68	3.08	3.33	3.31	3.04	2.64	2.19	1.78	1.49	1.33	1.47	1.89	2.36	2.72
16	1.33	1.18	1.33	1.71	2.27	2.83	3.24	3.43	3.32	2.95	2.47	1.89	1.39	1.08	-	-	-	-
17	1.11	0.85	0.83	0.81	1.79	2.41	2.94	3.29	3.39	3.17	2.79	2.28	1.74	1.39	1.26	1.46	1.87	2.39
18	1.50	1.05	0.84	0.90	1.32	1.98	2.70	3.20	3.56	3.52	3.18	2.65	1.99	1.45	1.09	1.00	1.25	1.83
19	2.80	2.30	1.80	1.40	1.40	1.70	2.20	2.70	3.10	3.30	3.30	2.90	2.40	1.70	1.10	-	-	-
20	3.20	2.70	2.30	1.80	1.50	1.50	1.90	2.40	2.80	3.20	3.30	3.10	2.70	2.20	-	-	-	-
21	3.40	3.00	2.60	2.10	1.80	1.60	1.80	2.20	2.60	3.00	3.20	3.20	2.80	2.40	1.80	-	-	-
22	3.30	3.20	2.90	2.50	2.10	1.80	1.80	2.00	2.40	2.70	3.00	3.10	3.00	2.60	2.10	-	-	-
23	3.20	3.30	3.10	2.80	2.40	2.10	1.90	1.90	2.20	2.50	2.80	3.00	3.00	2.80	2.40	1.90	1.40	1.10
24	3.24	3.34	3.21	2.89	2.50	2.14	1.84	1.80	2.00	2.33	2.67	2.93	3.08	2.98	2.67	2.21	1.73	1.25
25	2.79	3.04	3.13	2.98	2.76	2.47	2.17	1.98	1.96	2.10	2.35	2.62	2.80	2.84	2.73	2.40	2.00	1.61
26	2.31	2.72	2.94	3.02	2.92	2.74	2.50	2.28	2.13	2.09	2.20	2.39	2.58	2.71	2.77	2.59	2.28	1.92
27	1.87	2.27	2.64	2.85	2.96	2.93	2.77	2.56	2.31	2.18	2.13	2.19	2.30	2.42	2.51	2.52	2.42	2.21
28	1.54	1.85	2.19	2.50	2.73	2.85	2.84	2.72	2.52	2.30	2.10	2.02	2.06	2.13	2.22	2.34	2.38	2.31
29	1.42	1.60	1.89	2.22	2.54	2.79	2.92	2.81	2.65	2.45	2.19	1.98	1.85	1.89	2.02	2.20	2.33	2.43

(-) tidak dilakukan pengamatan

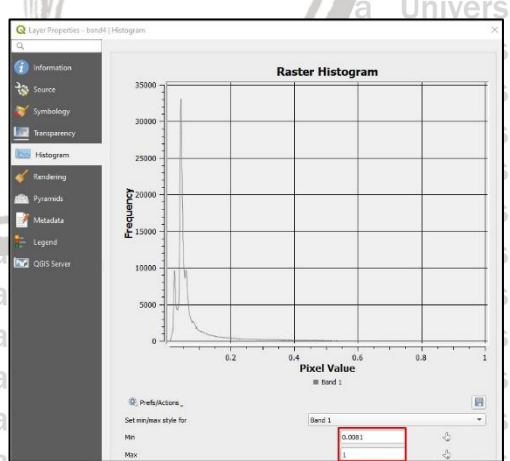
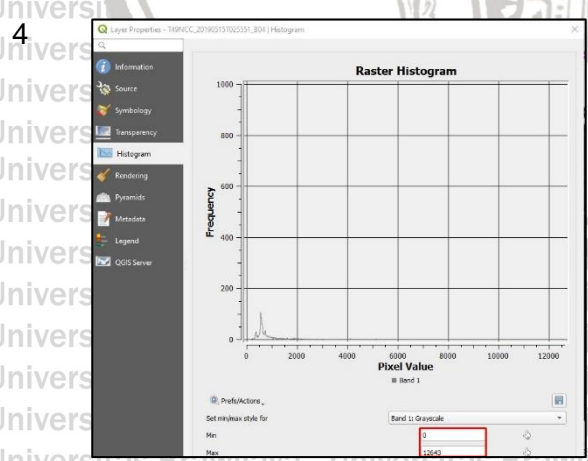
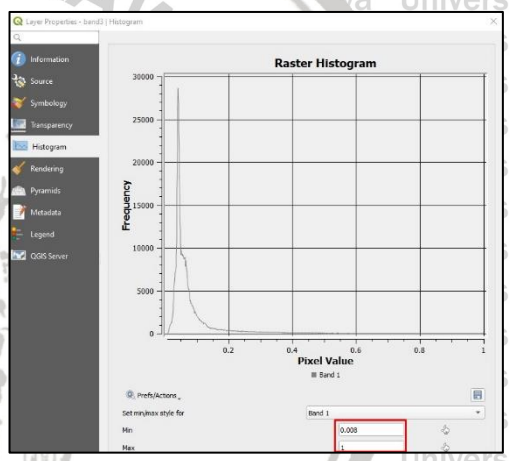
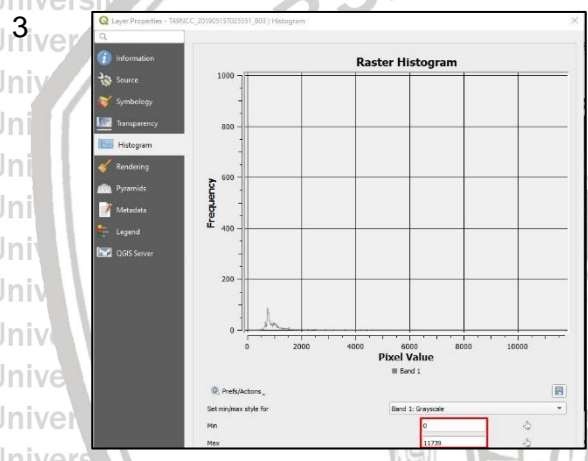
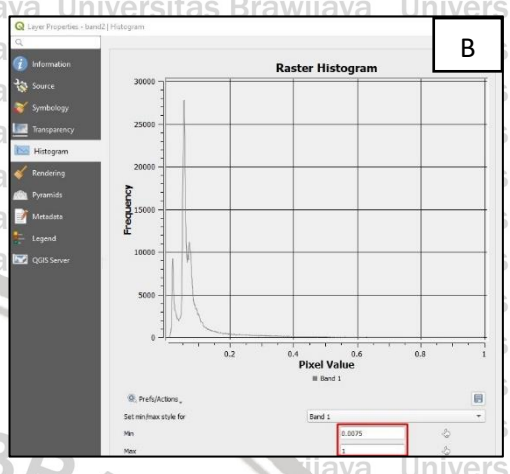
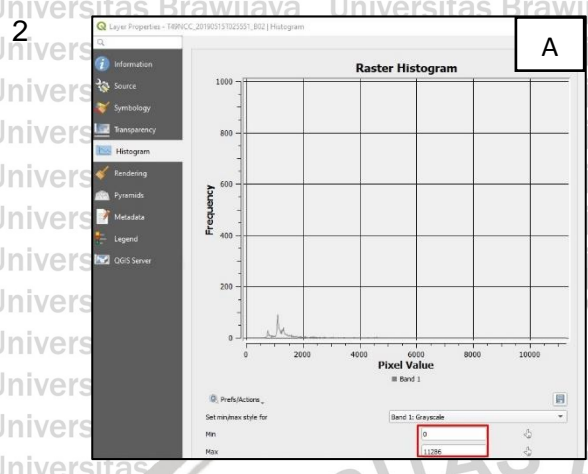


Lampiran 2 Tabel Hasil Koreksi Surutan Pada Software Hypack 15.0

Record	Time	Raw Depth	Tide Corr	Corr. Depth
1	07:32:03.19	6.35	-1.41	4.94
2	07:32:03.25	6.38	-1.41	4.97
3	07:32:03.32	6.39	-1.41	4.98
4	07:32:03.38	6.37	-1.41	4.96
5	07:32:03.45	6.37	-1.41	4.96
6	07:32:03.52	6.38	-1.41	4.97
7	07:32:03.58	6.39	-1.41	4.98
8	07:32:03.84	6.41	-1.41	5.00
9	07:32:03.97	6.39	-1.41	4.98
10	07:32:04.04	6.39	-1.41	4.98
11	07:32:04.10	6.41	-1.41	5.00
12	07:32:04.17	6.40	-1.41	4.99
13	07:32:04.23	6.41	-1.41	5.00
14	07:32:04.30	6.44	-1.41	5.03
15	07:32:04.36	6.44	-1.41	5.03
16	07:32:04.43	6.44	-1.41	5.03
17	07:32:04.49	6.42	-1.41	5.01
18	07:32:04.56	6.43	-1.41	5.02
19	07:32:04.62	6.43	-1.41	5.02
20	07:32:04.69	6.43	-1.41	5.02
21	07:32:04.75	6.45	-1.41	5.04
22	07:32:04.82	6.44	-1.41	5.03
23	07:32:04.88	6.47	-1.41	5.06
24	07:32:04.95	6.47	-1.41	5.06
25	07:32:05.01	6.44	-1.41	5.03
26	07:32:05.08	6.43	-1.41	5.02
27	07:32:05.14	6.44	-1.41	5.03
28	07:32:05.21	6.43	-1.41	5.02
29	07:32:05.27	6.43	-1.41	5.02
30	07:32:05.34	6.43	-1.41	5.02

Lampiran 3 Hasil Histogram Koreksi Radiometrik Citra Sentinel-2A Band 2,3,4

Band Sebelum Sesudah



Lampiran 4 Hasil Histogram Koreksi Radiometrik Citra Landsat 8 Band 2,3,4

Band Sebelum Sesudah

